



جمهوری اسلامی ایران
وزارت نفت

راهنمای انجام مطالعات و طراحی ژئوتکنیکی صنعت نفت

در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس



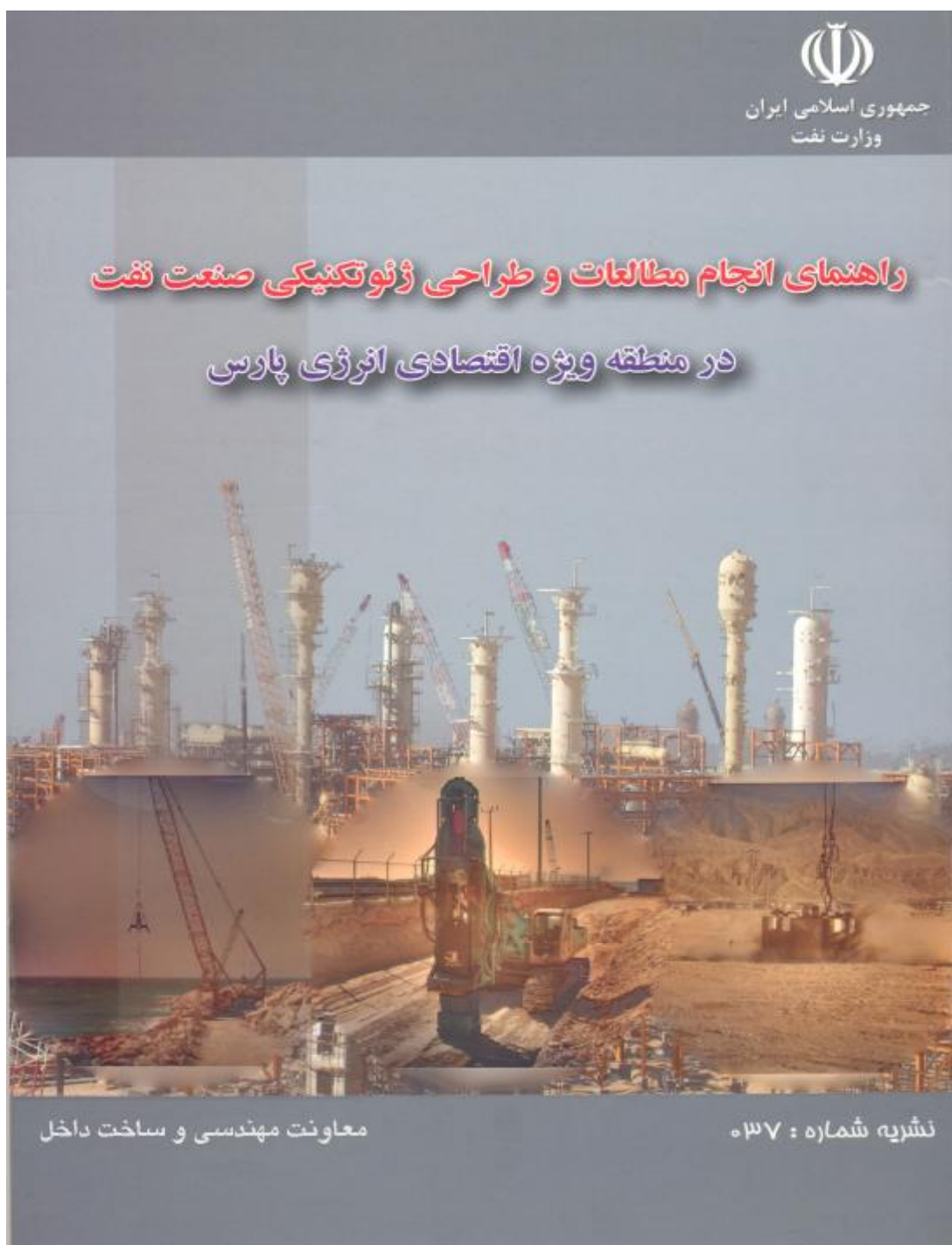
معاونت امور مهندسی و فناوری

۱۳۸۴

نشریه شماره : ۳۷ هـ

جمهوری اسلامی ایران
وزارت نفت

راهنمای انجام مطالعات و طراحی ژئوتکنیکی صنعت نفت در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس



معاونت مهندسی و ساخت داخل وزارت نفت

نشریه شماره 037

تاریخ: ۱۸، ۱۲، ۸۴
شماره: ف/۳۵۳، ۱۳۲
پیوست: ۱



معاونت مهندسی و فناوری

به: معاونین محترم وزارت نفت

مدیران عامل محترم شرکتهای تابعه وزارت نفت

موضوع: راهنمای مطالعات امکان سنجی و ارزیابی طرحهای صنعت نفت

با سلام،

به پیوست راهنمای مطالعات امکان سنجی و ارزیابی طرحهای صنعت نفت ارسال می‌گردد، تا با توجه به اهمیت مطالعات امکان سنجی در فرایند اجرای طرح‌ها مورد استفاده قرار گیرد. یاد آور می‌گردد بر اساس مفاد نظام اجرایی طرحهای صنعت نفت، شروع هرگونه عملیات اجرایی منوط به تصویب گزارش مطالعات امکان سنجی طرح توسط مدیریت برنامه‌ریزی تلفیقی هیئت مدیره شرکت‌ها و حسب مورد هیئت مدیره چهار شرکت اصلی می‌باشد. بر این اساس طرح‌های نوع اول و دوم باید دارای گزارش توجیهی فنی، مالی، اقتصادی، نهادی و زیست محیطی (امکان سنجی) مصوب باشند. در مورد طرحهای نوع سوم، حداقل باید ضرورت انجام طرح، حجم عملیات، برآورد سرمایه‌گذاری و مدت زمان اجرای آن مشخص باشد. مطالعات امکان سنجی طرحهای نوع اول و دوم صرفاً توسط مهندسان مشاور و طرحهای نوع سوم توسط مهندسان مشاور یا کارفرما انجام خواهد شد.

انتظار دارد اظهارنظرهای سازنده مجریان، مهندسان مشاور و پیمانکاران صنعت نفت در تجدید نظرهای آتی مورد استفاده قرار گیرد.

۱
محمدالله محمدنژاد
معاون وزیر در امور مهندسی و فناوری

پیشگفتار

معاونت امور مهندسی و فناوری وزارت نفت به منظور نظام‌مند کردن مطالعات و طراحی‌های ژئوتکنیکی در ساخت تاسیسات صنعت نفت، اقدام به تهیه راهنما نموده است. در این راستا کارگروه ژئوتکنیک صنعت نفت متشکل از متخصصین برجسته ژئوتکنیک کشور و کارشناسان وزارت نفت تشکیل گردید. این کارگروه در اولین گام "راهنمای انجام مطالعات و طراحی ژئوتکنیکی صنعت نفت در منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی ماهشهر" را در بهار 1383 منتشر نمود و گام بعدی را به تهیه راهنما برای منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس اختصاص داد. این راهنما قبل از انتشار برای مهندسیین مشاور ذیصلاح و دست‌اندرکاران طراحی در منطقه برای نظرخواهی ارسال گردیده و پس از جمع‌آوری و بررسی نقطه نظرات آنان مورد ارزیابی و اصلاح نهایی قرار گرفته است.

راهنمای حاضر، با توجه به تجربیات مفیدی که در سالهای اخیر در طراحی و اجرای تاسیسات صنعت نفت کسب شده است، در شش فصل و شش پیوست تهیه گردیده که عمده مطالب آن درباره نحوه انجام مطالعات با توجه به نیازهای طراحی، کنترل کیفیت عملیات و ساخت و سازها، بهره‌گیری از روشهای بهسازی زمین، نحوه انجام طراحی‌های ایمن و بهینه، نحوه تهیه و ارائه گزارش ژئوتکنیکی و نیز ارائه تصویری از جایگاه ژئوتکنیک در پروژه‌های صنعت نفت می‌باشد.

بر خود لازم می‌دانم تا از زحمات اعضای کارگروه ژئوتکنیک آقایان دکتر محمد تقی ایزدی، دکتر فردین جعفرزاده، دکتر عباس سروش (رئیس کارگروه)، مهندس پیلتن طباطبایی شوریجه (دبیر کارگروه)، دکتر کاظم فخاریان، دکتر اورنگ فرزانه و دکتر سیاوش لیتکوهی که این کار را به انجام رسانده‌اند تشکر و قدردانی نمایم. همچنین از مهندسان مشاور سازه، زمیران، ایریتک، انرشمی، چگالش، نارگان، ناموران، سازه‌پرداز، پی‌کاو و رهشهر که با اظهار نظر نسبت به پیش‌نویس راهنما و یا حضور در جلسات نیازسنجی کارگروه به تکمیل آن کمک کرده‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم. امید است بهره‌گیری از توصیه‌ها، معیارها و ملاحظات ژئوتکنیکی این راهنما، در طراحی مناسب و بهینه و عملکرد رضایت‌بخش تاسیسات نفتی مثمر ثمر واقع گردد.

حمدالله محمدنژاد

معاون وزیر در امور مهندسی و فناوری

اعضای کارگروه تخصصی تهیه راهنمای انجام مطالعات و طراحی ژئوتکنیکی صنعت

نفت در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس:

1- دکتر عباس سروش

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) - رئیس کارگروه

2- دکتر کاظم فخاریان

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

3- دکتر اورنگ فرزانه

دانشگاه تهران

4- دکتر فردین جعفرزاده

دانشگاه صنعتی شریف

5- دکتر سیاوش لیتکوهی

رئیس هیات مدیره شرکت مهندسان مشاور خدمات مهندسی مکانیک خاک

6- دکتر محمد تقی ایزدی

مدیر عامل شرکت جهان پی سامان

7- مهندس پیلتن طباطبایی شوریجه

کارشناس امور فنی معاونت مهندسی و فناوری وزارت نفت - دبیر کارگروه

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

1	1-1- کلیات
---	------------

فصل دوم: مرور مطالعات و طراحی های قبلی

3	1-2- زمین شناسی منطقه
3	2-2- مشخصه های ژئوتکنیکی خاک زیر سطحی
4	3-2- لرزه خیزی منطقه
4	4-2- محدوده پارامترهای ژئوتکنیکی
4	5-2- طراحی های ژئوتکنیکی
5	1-5-2- ارزیابی روشهای استحصال زمین از دریا
5	2-5-2- ارزیابی انواع پی های انتخاب شده

فصل سوم: شناسایی ژئوتکنیکی

7	1-3- فاصله، عمق و تعداد گمانه ها
7	1-1-3- مرحله اول: جمع آوری اطلاعات موجود و شناسائی اولیه
8	2-1-3- مرحله دوم: مطالعات مقدماتی
8	3-1-3- مرحله سوم: مطالعات تفصیلی برای طراحی
9	4-1-3- مرحله چهارم: مطالعات تکمیلی در حین اجرا
9	2-3- روش های حفاری و نمونه گیری
9	1-2-3- روش های حفاری
10	2-2-3- روش های نمونه گیری
11	3-2-3- حفاری و نمونه گیری در بستر دریا
13	3-3- آزمایشهای برجا
14	4-3- آزمایشهای آزمایشگاهی
14	1-4-3- آزمایشهای خواص فیزیکی
14	2-4-3- آزمایشهای مکانیکی
15	3-4-3- آزمایشهای دینامیکی

- 15 4-4-3- آزمایش‌های شیمیائی خاک و آب
15 3-5- نحوه پردازش پارامترهای ژئوتکنیکی

فصل چهارم: آماده‌سازی زمین

- 17 1-4- اصول کلی طراحی خاکریزهای مهندسی
18 2-4- ملاحظات مربوط به نظارت بر اجرای خاکریزهای مهندسی
19 3-4- ملاحظات مربوط به طراحی پی‌های سطحی در زمین‌های آماده‌سازی شده

فصل پنجم: طراحی مهندسی ژئوتکنیکی

- 21 1-5- معیارهای نشست سازه‌ها
21 1-1-5- مقدمه
22 2-1-5- مقادیر مجاز نشست در انواع زمین‌ها
25 3-1-5- سازه‌های صنعتی و خاص
26 2-5- طراحی روشهای بهسازی زمین
26 1-2-5- مقدمه
26 2-2-5- انواع روشهای بهسازی
27 3-2-5- معیارهای اصلی انتخاب روش بهسازی
27 4-2-5- روشهای مناسب بهسازی در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس
28 5-2-5- انتخاب روشهای مناسب بهسازی برای انواع سازه‌ها
28 6-2-5- نکات طراحی و اجرایی روش تراکم دینامیکی
28 1-6-2-5- مقدمه
28 2-6-2-5- ملاحظات طراحی
29 3-6-2-5- کنترل کیفیت بهسازی مناطق استحصالی
29 4-6-2-5- پیشنهادها و توصیه‌ها
30 3-5- طراحی پی‌های سطحی
30 1-3-5- تعاریف و دامنه کاربرد
30 2-3-5- هدف
30 3-3-5- حالات حدی
31 4-3-5- بارهای وارد بر پی
31 5-3-5- مطالعه ژئوتکنیکی
32 6-3-5- عوامل طراحی
32 7-3-5- بررسی‌های لازم در طراحی پی‌های سطحی
32 8-3-5- عمق استقرار پی
33 9-3-5- طراحی بر مبنای حالات حدی نهایی

34	10-3-5- طراحی بر مبنای حالات حدی بهره‌برداری
35	11-3-5- شرایط ویژه منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس از لحاظ طراحی پی‌های سطحی
36	4-5- طراحی پی‌های عمیق (شمع‌ها)
36	1-4-5- مقدمه
36	2-4-5- شمع در زمین‌های طبیعی در ناحیه خشکی
37	3-4-5- شمع در زمین‌های استحصالی یا آماده‌سازی شده
37	4-4-5- شمع در داخل آب
38	5-4-5- تحلیل و طراحی
38	5-5- طراحی دیوارهای حائل، ترانشه‌ها، خاکریزها و خطوط لوله مدفون
38	1-5-5- دیوارهای حائل
38	2-5-5- ترانشه‌ها
38	3-5-5- خاکریزها
39	4-5-5- خطوط لوله مدفون
39	6-5- طراحی ابزارگذاری و رفتارسنجی
39	1-6-5- اهداف
39	2-6-5- پارامترهای مورد نظر و ابزار متناسب
41	7-5- ژئوتکنیک لرزه‌ای
41	1-7-5- مقدمه
41	2-7-5- خطرات محتمل
41	3-7-5- نکات طراحی

فصل ششم: مشاوره و نظارت بر عملیات ژئوتکنیکی طرح

43	1-6- تعاریف
44	2-6- فعالیتهای مطالعاتی و اجرایی ژئوتکنیک
44	3-6- نظارت بر عملیات ژئوتکنیکی

پیوست الف: ارائه خلاصه‌ای از مطالعات و طراحی‌های قبلی در منطقه ویژه اقتصادی انرژی

پارس

45	الف-1- مقدمه
45	الف-2- موقعیت و اطلاعات اقلیمی
45	الف-3- زمین‌شناسی
46	الف-4- مشخصات ژئوتکنیکی خاک‌های منطقه

48	الف-5- عملیات خاکی
48	الف-6- استحصال زمین از دریا
49	الف-7- روش‌های پی‌سازی و اصلاح خاک
49	الف-8- مسائل و مشکلات محتمل
50	الف-9- لرزه‌خیزی
50	الف-10- فهرست گزارشهای مطالعات ژئوتکنیکی انجام شده در منطقه

پیوست ب: فرمت و نحوه تدوین گزارش

53	ب-1- روی جلد
53	ب-2- صفحه اول
54	ب-3- فهرست مطالب
54	ب-4- فهرست جداول گزارش اصلی
55	ب-5- فهرست شکل‌های گزارش اصلی
55	ب-6- فهرست جداول و شکل‌های مندرج در پیوست (ها)
55	ب-7- فهرست علائم و نشانه‌ها
55	ب-8- مقدمه گزارش
56	ب-9- مشخصات عملیات خاکی انجام شده در محل
57	ب-10- مطالعات انجام شده در زمینهای مجاور
57	ب-11- فهرست مراجع
57	ب-12- نحوه شماره‌گذاری صفحات (اختیاری)

پیوست ج: آشنایی با روشهای بهسازی زمین

59	ج-1- مقدمه
59	ج-2- تراکم دینامیکی
59	ج-2-1- تجهیزات
60	ج-2-2- خاکهای دانه‌ای
61	ج-2-3- خاکهای چسبنده
62	ج-2-4- عمق بهسازی
62	ج-2-5- کنترل کیفیت عملیات
63	ج-3- پیش‌بارگذاری
64	ج-4- زهکشهای قائم
65	ج-5- روش‌های تراکم ارتعاشی جابجائی و جایگزینی

66	ج-5-1- مزایای ستون‌های سنگی
66	ج-5-2- معایب ستون‌های سنگی
67	ج-6- ستونهای بتنی ارتعاشی
67	ج-7- تزریق
68	ج-7-1- انواع روش‌های تزریق
68	ج-7-1-1- تزریق با فشار بسیار بالا
71	ج-7-1-2- تزریق شکافتی
71	ج-8- اختلاط عمیق خاک
71	ج-9- ژئوسینتتیکها
72	ج-10- مقایسه روشهای بهسازی

پیوست د: دستورالعمل‌ها و پیشنهادهای طراحی شمع

75	د-1- مطالعات ژئوتکنیک (گام اول)
75	د-2- بررسی ضرورت استفاده از شمع (گام دوم)
	د-3- ملزومات طراحی: بارگذاری، عمق و نحوه استقرار، جنس و آرایش شمع‌ها (گام سوم)
	75
76	د-4- ملاحظات عمده طراحی شمع (گام چهارم)
79	د-5- تعیین ضریب اطمینان (گام پنجم)
79	د-6- بررسی اثر بار جانبی (گام ششم)
80	د-7- بررسی اثر گروه‌شمع (گام هفتم)

پیوست ه: روشهای آزمایش و تحلیل دینامیکی شمع

81	ه-1- مقدمه
	ه-2- فرمولهای دینامیکی
	81
82	ه-3- روش تحلیل معادله موج – WEAP
82	ه-4- آزمایش دینامیکی شمع - PDA
83	ه-5- روش انطباق سیگنال - CAPWAP
84	ه-6- آزمایش کنترل یکپارچگی - PIT

پیوست و: نقشه کاربری اراضی در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس

87	و-1- مقدمه
----	------------

فصل اول

مقدمه

1-1- کلیات

راهنمای حاضر برای انجام مطالعات و طراحی‌های ژئوتکنیکی صنعت نفت در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس تدوین شده است. اگرچه اصول و محورهای کلی این راهنما جنبه عمومی داشته و برای مناطق و پروژه‌های دیگر نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، با اینحال سعی شده است تا ویژگیهای ژئوتکنیکی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس بیشتر مورد توجه قرار داده شود. این راهنما نه به عنوان "آئین‌نامه" و یا "استاندارد" برای انجام مطالعات، آزمایشها و طراحی‌ها، بلکه همانگونه که از عنوان آن بر می‌آید، بعنوان یک "راهنما" تهیه شده است. استفاده از آن توسط مهندسان مشاور می‌تواند از یکطرف صرفه‌جویی در وقت و هزینه و از طرف دیگر انجام مطالعات و طراحی‌های دقیقتر و جامعتر را به دنبال داشته باشد.

در فصل دوم این راهنما، ضمن تاکید بر ضرورت مرور جامع مطالعات و طراحی‌های قبلی در منطقه، مراحل انجام آن پیشنهاد شده است. فصل سوم به تشریح مراحل مختلف شناسائی ژئوتکنیکی، شامل ویژگیهای حفر گمانه‌ها، آزمایشهای صحرائی، آزمایشهای آزمایشگاهی و نحوه پردازش پارامترهای ژئوتکنیکی می‌پردازد. فصل چهارم به روشهای آماده‌سازی زمین اختصاص یافته است. در فصل پنجم، طراحی مهندسی ژئوتکنیکی، شامل تفسیر و انتخاب پارامترهای ژئوتکنیکی، ارائه معیارهای نشست انواع سازه‌ها، روشهای بهسازی زمین، پی‌های سطحی، پی‌های عمیق، طراحی ابنیه فنی (دیوارهای حائل،...)، ژئوتکنیک لرزه‌ای، ابزارگذاری و رفتارسنجی تشریح خواهد شد. فصل ششم به موضوع مشاوره و نظارت بر عملیات ژئوتکنیکی طرح پرداخته و نقش آن‌ها در کیفیت اجرا، تکمیل اطلاعات ژئوتکنیکی و ارتقاء طراحی را مطرح خواهد کرد.

پیوست "الف" با عنوان "خلاصه‌ای از مطالعات و طراحی‌های قبلی در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس"، شامل خلاصه خصوصیات زمین‌شناسی، ویژگیهای ژئوتکنیکی و روشهای متداول بهسازی زمین و پی‌سازی در منطقه می‌باشد. پیوست "ب" با عنوان "فرمت و نحوه تدوین گزارش" ملزومات ارائه گزارشهای ژئوتکنیکی را ارائه می‌نماید. پیوست "ج" با عنوان "آشنایی با روشهای بهسازی زمین" به شرح مختصر روشهای بهسازی می‌پردازد. پیوست "د" با عنوان "دستورالعمل‌ها و پیشنهادها برای طراحی شمع" اصول و روشهای طراحی شمع را مورد بررسی قرار می‌دهد. پیوست "ه" با عنوان "آزمایش دینامیکی شمع‌ها" به تشریح این آزمایش‌ها می‌پردازد.

فصل دوم

مرور مطالعات و طراحی‌های قبلی

در "منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس" مطالعات و طراحی‌های ژئوتکنیکی قابل توجهی برای پروژه‌های در دست اجرا و اجرا شده در گذشته صورت گرفته است. بنابراین ضروری است قبل از شروع شناسایی، مطالعات صحرایی و طراحی‌های ژئوتکنیکی جدید برای هر پروژه، مطالعات و طراحی‌های قبلی مربوط به آن محدوده به دقت بررسی و ارزیابی شود. این ارزیابی با مطالعه گزارشهای مربوطه و بازدیدهای محلی انجام می‌شود. با جمع‌بندی و استفاده از این اطلاعات از صرف هزینه‌ها و مطالعات اضافی جلوگیری خواهد شد و برنامه‌ریزی برای مطالعات تکمیلی واقع‌بینانه‌تر و با توجه به کمبودهای موجود صورت خواهد گرفت. توصیه می‌شود که "مرور مطالعات و طراحی‌های قبلی" به عنوان بخش اولیه شرح خدمات هر پروژه در نظر گرفته شود. در مرور مطالعات و طراحی‌های قبلی، محورهای زیر باید مورد ارزیابی قرار گیرد.

2-1- زمین‌شناسی منطقه

در این قسمت آخرین گزارشها و نقشه‌های زمین‌شناسی و زمین‌شناسی مهندسی منطقه بررسی شده و ویژگیهای سازندهای محل مورد توجه قرار می‌گیرد. در این رابطه، مطالعه ژئومورفولوژی منطقه، توپوگرافی محدوده پروژه و پهنه‌بندی (Zoning) زمین‌شناسی سطحی، بویژه تعیین موقعیت آبراهه‌ها و مسیل‌ها (قبل از پر کردن مصنوعی آنها) بر روی نقشه، توصیه می‌گردد.

2-2- مشخصه‌های ژئوتکنیکی خاک زیرسطحی

در این بخش بسته به نیازهای پروژه، اطلاعات زیر جمع‌بندی خواهد شد:

- ◆ گستره و ضخامت آبراهه‌ها و مسیل‌های پر شده
- ◆ کیفیت پر کردن آبراهه‌ها و مسیل‌ها و میزان تراکم مصالح پرکننده در زمان اجرا
- ◆ نتایج حاصل از آزمایشهای ژئوفیزیک در تعیین لایه‌بندی کلی زمین
- ◆ توصیف و طبقه‌بندی کلی هر لایه
- ◆ عمق بستر سنگی (Bed Rock) و پروفیل آن در دو جهت متقاطع
- ◆ هندسه لایه‌های مختلف شامل تراز، ضخامت و شیب مرزهای بالا و پائین هر لایه در دو جهت متقاطع

- ◆ تراز سطح آب زیرزمینی و نوسانات آن
- ◆ مشخصه‌های فیزیکی شامل دانه‌بندی، وزن مخصوص، حدود اتربرگ و ...
- ◆ خواص مکانیکی (مقاومتی و تغییرشکل‌پذیری) و خواص هیدرولیکی (نفوذپذیری)؛ نوع آزمایش انجام شده (آزمایشگاهی یا برج)، نوع نمونه (دست‌نخورده یا بازسازی شده) و نوع پارامترها بسته به شرایط آزمایش (زهکشی‌نشده یا زهکشی‌شده) مورد توجه قرار گیرد.
- ◆ ضرایب رانش جانبی خاک در حالت‌های سکون (K_0)، محرک (K_a) و مقاوم (K_p)
- ◆ مشخصه‌های شیمیایی آب و خاک بویژه pH، میزان سولفات و کلر برای تعیین نوع سیمان بتن

2-3- لرزه‌خیزی منطقه

به منظور بررسی و شناسایی خصوصیات لرزه‌خیزی منطقه لازم است تا سابقه لرزه‌خیزی و گسل‌های موثر در شعاع متناسب با اهمیت پروژه مورد بررسی قرار گیرند. در این زمینه گزارش تهیه شده توسط سایر مشاورین برای پروژه‌های اجرا شده در منطقه نیز می‌تواند مفید و راهگشا باشد. همچنین موارد اشاره شده در آئین‌نامه‌های زلزله و بخصوص آئین‌نامه 2800 زلزله ایران باید مد نظر قرار گیرد. علاوه بر وضعیت لرزه‌خیزی منطقه، کلیه اطلاعات مربوط به خصوصیات لرزه‌ای و دینامیکی لایه‌های مختلف زمین شامل نتایج آزمایش‌های آزمایشگاهی و صحرایی، و نیز پاسخ لرزه‌ای ساختگاه جمع‌آوری و طبقه‌بندی گردد. همچنین معیارهای استفاده شده در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها (با توجه به نوع و حساسیت آنها) جمع‌آوری شود. لازم به ذکر است که منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس مطابق آئین‌نامه 2800 (ویرایش سوم، 1384)، در پهنه با خطر نسبی زیاد قرار گرفته و با توجه به حساسیت و ابعاد سازه‌های در دست ساخت، لازم است مطالعات لرزه‌خیزی با دقت انجام گیرد.

2-4- محدوده پارامترهای ژئوتکنیکی

مناسب است با استفاده از اطلاعات ذکر شده در بندهای 1-2 تا 3-2، پارامترهای ژئوتکنیکی محدوده در قالب جداول و نمودارهایی به صورت خلاصه و در عین حال قابل استفاده ارائه گردد.

2-5- طراحی‌های ژئوتکنیکی

با مرور طراحی‌های ژئوتکنیکی در محدوده‌ای متناسب با ابعاد و اهمیت پروژه، موارد زیر باید مطالعه و نتایج آن مورد استفاده قرار گیرد.

2-5-1- ارزیابی روشهای استحصال زمین از دریا

از آنجا که استحصال زمین به صورت گسترده‌ای در منطقه صورت می‌گیرد، اطلاعات موجود در مورد استحصال زمین در موارد زیر بایستی جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل شود:

- ◆ اهداف و کلیات روش استحصال
- ◆ لایه‌بندی و شیب بستر دریا در منطقه مورد استحصال
- ◆ جنس و خواص مصالح استفاده شده برای استحصال و وضعیت منابع قرصه (سنگدانه و خاک)
- ◆ خواص مربوط به دوام و فرسایش پاره‌سنگها (سنگ‌چین‌ها و جتی‌ها)
- ◆ روش‌های مورد استفاده برای ایجاد تراکم (تراکم دینامیکی و ...)
- ◆ روشهای کنترل کیفیت بکار گرفته شده و نوع آزمایشهای مورد استفاده
- ◆ بررسی پتانسیل روانگرایی
- ◆ تراکم نسبی لایه‌ها
- ◆ ارزیابی یکنواختی مصالح مورد استفاده در استحصال
- ◆ با توجه به تاثیرپذیری هیدرودینامیک دریا از تغییرات ساحل، بایستی مطالعات هیدرودینامیک و انتقال رسوب ساحلی (Littoral Drift) در منطقه صورت گیرد تا تاثیر جریانهای ناشی از امواج موازی با خط ساحلی، در رسوبگذاری و رسوب‌برداری محل مورد مطالعه، مشخص گردد.

2-5-2- ارزیابی انواع پی‌های انتخاب شده

در این ارزیابی اطلاعات زیر مورد توجه قرار می‌گیرد:

- ◆
ز
وع پی؛ سطحی یا عمیق
- ◆
ا
استفاده از تقویت‌کننده‌ها (شامل پارچه‌گونه‌ها، لایه‌های شنی و ماسه‌ای در زیر پی‌های سطحی و ...)
- ◆
م
عیارهای طراحی پی‌ها (ظرفیت باربری، نشست، ...)
- ◆
ر
روشهای مورد استفاده در محاسبات مربوط به نشست و ظرفیت باربری
- ◆
ض
رایب اطمینان استفاده شده در محاسبات

- ا ◆
بعاد پی‌های سطحی و عمیق
 - ر ◆
وش اجرا در پی‌های عمیق (کوبشی یا درجا)
 - ا ◆
ثر سطح آب زیرزمینی و نوسانات آن در طراحی‌ها
 - ا ◆
نواع بارگذاریهای منظور شده در طراحی‌ها
 - ج ◆
زئیات ابزارگذاری و نتایج رفتارسنجی‌ها
 - د ◆
یوارهای حائل؛ نوع و مبانی طراحی
 - آ ◆
ماده‌سازی زمین
 - ب ◆
سترها و پی‌های خطوط لوله‌های مدفون و غیر مدفون
- تذکر: نظر به اهمیت نقش مطالعات و طراحی‌های قبلی، توصیه می‌گردد که سازمان کارفرما نسخه اصلی، نورگذر یا رایانه‌ای از مطالعات و طراحی‌های ژئوتکنیکی منطقه را به صورت منظم و طبقه‌بندی شده، شامل نام مشاورین و پیمانکاران و نیز سایتها و موضوعات کاری مربوط به هر یک از آنها، نزد خود نگهداری نماید. همچنین مشاورین ژئوتکنیکی، بایگانی منظم و قابل استفاده‌ای از مطالعات و طراحی‌های خود تهیه و نگهداری نمایند.

فصل سوم

شناسایی ژئوتکنیکی

شناسایی ژئوتکنیکی محل معمولاً در سه یا چهار مرحله صورت می‌پذیرد:

مرحله اول: جمع‌آوری اطلاعات موجود و شناسایی اولیه

مرحله دوم: مطالعات مقدماتی

مرحله سوم: مطالعات تفصیلی برای طراحی

مرحله چهارم: مطالعات تکمیلی در حین اجرا

در کلیه طرح‌های اجرایی بسته به اهمیت و حساسیت پروژه، وسعت و اقتصاد طرح، شرایط توپوگرافی و زمین‌شناسی منطقه، ممکن است تمامی یا برخی از مراحل چهارگانه فوق در شناسایی ژئوتکنیکی محل بکار گرفته شود. در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس، با توجه به حساسیت بالای تجهیزات مختلف نسبت به نشست، بویژه نشست غیرمقارن پی‌ها، و استحصال زمین از دریا در منطقه‌ای که دارای خطر لرزه‌خیزی زیاد می‌باشد، لازم است که مراحل شناسایی ضروری با دقت کافی صورت پذیرد. با توجه به اینکه در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس مطالعات متعدد ژئوتکنیک در چند سال اخیر صورت گرفته، می‌توان از گزارش‌های موجود سایتهای مجاور در آغاز برنامه‌ریزی عملیات پروژه‌های جدید بهره جست.

علیرغم آنکه مراحل چهارگانه فوق‌الذکر عموماً در متون فنی و آموزشی مرتبط با مطالعات ژئوتکنیک آورده شده، در قسمتهای بعدی این فصل هر مرحله به اختصار و با توجه به شرایط زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس توضیح داده می‌شود. در ادامه، روشهای حفاری و نمونه‌گیری مناسب با توجه به نوع لایه‌های خاک منطقه معرفی می‌گردد. همچنین آزمایشهای برجا و آزمایشگاهی مورد نیاز و مناسب برای شرایط لایه‌بندی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس به اختصار بیان خواهد شد.

۳-۱- فاصله، عمق و تعداد گمانه‌ها

۳-۱-۱- مرحله اول: جمع‌آوری اطلاعات موجود و شناسایی اولیه

در این مرحله نیازی به حفر گمانه نیست. فصل دوم این راهنما آغاز مناسبی برای این مرحله از شناسایی است. زمین‌شناسی کلی منطقه مشخص و معلوم است (پیوست "الف"). علاوه بر مطالب ارائه شده در پیوست "الف"، توصیه می‌گردد که به گزارشهای ژئوتکنیک سایتهای مجاور نیز رجوع شود. بازدید از محل (Reconnaissance) از اقدامات ضروری این مرحله است.

در مورد استحصال زمین از دریا، لازم است ابعاد محدوده مورد نظر و عمق بستر دریا شناسائی و بررسی گردد. منابع قرصه مورد نیاز نیز شناسائی شود.

همچنین بر روی نقشه محل، بر اساس جانمایی موجود ساختمانها و سازه‌های مختلف، مطالعات ژئوتکنیک لازم در مرحله بعدی مشخص گردد. بعنوان مثال، نقاطی که احتمال داده می‌شود به بهسازی یا پی عمیق نیاز خواهد داشت تعیین شود. سازه‌هایی که به نشست حساس هستند مشخص شده و حدود تنش‌های انتقالی از سازه‌های مختلف به زمین برآورد گردد. تلفیق این اطلاعات با وضعیت کلی لایه‌بندی زمین در منطقه، مقدمات برنامه‌ریزی عملیات مطالعات ژئوتکنیک مرحله بعدی را فراهم می‌نماید.

۳-۱-۲- مرحله دوم: مطالعات مقدماتی

پس از بررسی نتایج مرحله اول، فاصله، عمق و تعداد گمانه‌ها و همچنین آزمایشهای صحرائی و آزمایشگاهی مورد نیاز برای مرحله دوم (مطالعات مقدماتی) برنامه‌ریزی و مشخص می‌گردد. به عنوان مثال، برای احداث یک پالایشگاه یا یک مجتمع متعارف پتروشیمی حفر 4 الی 8 گمانه با عمق حداقل 30 متر در محدوده طرح، شامل یک گمانه 50 متری در وسط زمین، توصیه می‌گردد. حداقل دو یا سه مورد از گمانه‌های فوق به روش مغزه‌گیری ممتد (Continuous Coring) حفر گردد و نمونه‌ها در جعبه‌های مخصوص قرار داده شده و بعد از عکسبرداری نگهداری شوند.

در صورت برخورد با خاکهای ماسه‌ای و یا ریزدانه آزمایش نفوذ استاندارد (SPT) در فواصل 1 تا 2 متری و یا هر تغییر لایه انجام شود.

از محل نقاط SPT نمونه دست‌خورده تهیه و برای انجام آزمایشهای فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه حمل می‌شود. تشریح نظری خاک از هر نمونه در محل انجام می‌پذیرد. در صورت عدم امکان جمع‌آوری نمونه در محفظه SPT، مغزه‌گیری با Core Barrel برای حمل به آزمایشگاه انجام شود.

در صورت برخورد با لایه‌های ریزدانه (رس و سیلت)، نمونه دست‌نخورده مطابق دستورات ذکر شده در بند 2-3 تهیه شود.

۳-۱-۳- مرحله سوم: مطالعات تفصیلی برای طراحی

بر اساس نتایج مطالعات مقدماتی و همچنین ضرورت‌های طرح، جانمایی سازه‌ها تدقیق شده و سپس برنامه‌ریزی مطالعات ژئوتکنیکی تکمیلی شامل تعداد، محل و عمق گمانه‌های لازم نهایی می‌گردد. بطور کلی موارد ذیل برای برنامه‌ریزی این مرحله توصیه می‌شود:

- ♦ در این مرحله محل حفر گمانه‌ها و تعداد آنها باید به گونه‌ای تعیین شود که بتوان نیمرخ ژئوتکنیکی زمین را در راستاهای مختلف شناسائی و رسم نمود.
- ♦ توزیع و عمق گمانه‌ها بر اساس موقعیت سازه‌های مختلف انتخاب شود. در محل سازه‌های مهم، مانند دودکشها، برجها و ماشین‌آلات سنگین حداقل حفر یک گمانه لازم است. تعدادی گمانه در گوشه‌ها و وسط محدوده ساختمانهای چند طبقه سنگین و مخازن با قطر زیاد توصیه می‌گردد.

- ◆ برای پل‌های بزرگ، حفر حداقل یک گمانه در محل هر پایه الزامی است.
- ◆ در نقاطی از دریا که قرار است استحصال زمین صورت پذیرد، لازم است که عملیات حفاری و شناسائی تا رسیدن به لایه مقاوم انجام شود. عمق آب باید در نقاط مختلف به دقت اندازه‌گیری شود تا بتوان حجم مورد نیاز مصالح قرضه را برآورد نمود.
- ◆ در صورت یکنواختی شرایط ژئوتکنیکی زمین، می‌توان حجم عملیات اکتشافی در محدوده طرح را کاهش داد.
- ◆ در شرایط خاصی می‌توان گمانه‌های شناسائی مقدماتی را با گمانه‌های مرحله دوم تلفیق کرد.

۳-۱-۴- مرحله چهارم: مطالعات تکمیلی در حین اجرا

- در زمان اجرا نیز مطالعات شناسائی ژئوتکنیک به دلایل زیر ممکن است ادامه یابد:
- ◆ در صورتی که مشاهدات حین اجرا با شرایط ژئوتکنیکی پیش‌بینی شده زمین، تفاوت قابل ملاحظه‌ای داشته باشد.
 - ◆ تغییرات در جانمایی سازه‌های مهم: در صورت نبودن گمانه در محل استقرار این سازه‌ها، گمانه‌های با عمق لازم طبق توصیه‌های بند 3-1-3 حفر شود.
 - ◆ چنانچه در حین اجرا، مشکلاتی از قبیل نشست یا دوران بیش از حد مجاز اتفاق افتد و نیاز به علت‌یابی و ترمیم وجود داشته باشد.
 - ◆ در زمین‌های استحصالی، به منظور حصول اطمینان از اجرای صحیح، تعدادی گمانه تا عمق لازم حفر می‌گردد. جزئیات مطالعات کنترل کیفیت استحصال در بند 3-6-2-5 ارائه شده است.

۳-۲- روش‌های حفاری و نمونه‌گیری

مصالح منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس عمدتاً رسوبات آبرفتی درشت‌دانه با مقداری سیمانتاسیون بوده و متشکل از شن ماسه‌دار همراه با مقادیری لای و قلوله سنگ است. با توجه به این موضوع روش‌های حفاری و نمونه‌گیری ویژه مصالح درشت‌دانه برای این منطقه مناسب است. همچنین رسوبات ریزدانه در بخش‌هایی از نواحی ساحلی (مانند ساحل خلیج نایبند در شرق منطقه) و داخل دریا دیده می‌شود، که به روش‌های مناسب نمونه‌گیری این نوع خاکها نیز اشاره خواهد شد.

۳-۲-۱- روش‌های حفاری

برای انجام حفاری در مصالح درشت‌دانه، روش‌های حفاری دورانی (Rotary Drilling) و حفاری ضربه‌ای (Percussion) توصیه می‌شود.

حفاری دورانی

در این روش، حفاری با استفاده از دوران و فشار سرمرته بداخل زمین انجام می‌گیرد. به علت وجود مصالح درشت-دانه، از لوله جدار (Casing) برای پایداری گمانه استفاده می‌شود. همچنین می‌توان از گل بنتونیت نیز برای پایداری دیواره گمانه استفاده کرد.

حفاری ضربه‌ای

بطور کلی در این روش دست‌خوردگی در مصالح زیاد است. دقت این روش جهت شناسایی بافت خاک کم بوده و ممکن است بخشهایی از مصالح ریزدانه در حین حفاری شسته شوند. با استفاده از لوله جدار میتوان گمانه‌هایی تا عمق 50 متر را نیز حفر نمود.

۳-۲-۲- روش‌های نمونه‌گیری

همزمان با حفر گمانه‌های اکتشافی، نمونه‌گیری از اعماق مورد نیاز انجام می‌گیرد. بطور کلی از دو روش نمونه-گیری در مطالعات ژئوتکنیکی استفاده می‌شود:

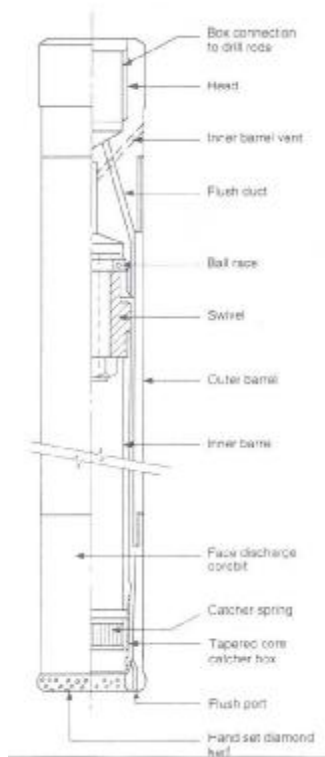
نمونه‌گیری دست‌خورده

معمولاً نمونه‌گیری دست‌خورده با هدف تهیه نمونه‌های معرف از اعماق مختلف با فواصل 1/5 متر و یا با تغییر لایه انجام می‌شود. از این نمونه‌ها برای تشریح نظری و انجام آزمایشهای آزمایشگاهی نظیر دانه‌بندی، تعیین حدود اتربرگ و در شرایطی تعیین رطوبت استفاده می‌گردد.

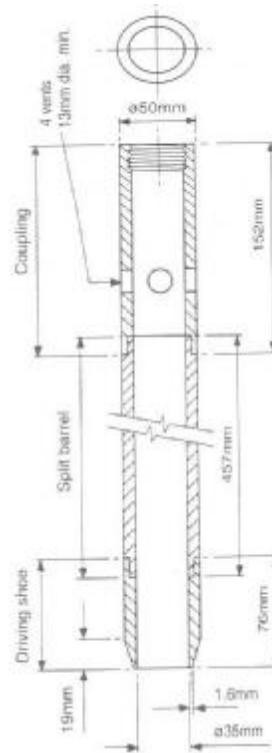
نمونه‌گیر مناسب برای این منظور نمونه‌گیر SPT (SPT Split Barrel) (شکل 3-1) و یا کربارل (Core Barrel) می‌باشد (شکل 3-2). استفاده از روش SPT برای نمونه‌گیری در مصالح ریزدانه و ماسه‌ای نتایج قابل اعتمادی داشته و در خاکهای شنی نامناسب است.

نمونه‌گیری دست‌نخورده

مصالح غالب منطقه آبرفتهای درشت‌دانه هستند. در این نوع خاکها تهیه نمونه دست‌نخورده دشوار و بعضاً غیر عملی است. نمونه‌گیری دست‌نخورده در خاکهای ریزدانه با هدف تهیه نمونه‌های معرف در فواصل 1/5 تا 2 متری در عمق و یا با تغییر لایه انجام می‌شود. از این نمونه‌ها در آزمایشهای آزمایشگاهی برای تعیین وزن مخصوص، خصوصیات مقاومتی و تغییرشکل‌پذیری و نیز نفوذپذیری مصالح استفاده می‌شود. نمونه‌گیری دست‌نخورده در خاکهای ریزدانه با توجه به سیستم حفاری و لوازم نمونه‌گیری به دو صورت نمونه‌گیری فشاری (Push Type Sampling) و نمونه‌گیری دورانی (Rotary Sampling) انجام می‌گیرد. از انواع نمونه‌گیرهای فشاری می‌توان به نمونه‌گیر جدار نازک شلبي (Shelby Tube) (شکل 3-3) و نمونه‌گیر پیستونی (Piston Sampler) (شکل 3-4) اشاره نمود. با توجه به احتمال تماس نمونه با آب حفاری و نیز دست‌خوردگی آن در اثر ارتعاشات حفاری، استفاده از نمونه‌گیرهای دورانی تکی و دوبر (Single & Double Tube Core Barrels) در این منطقه توصیه نمی‌شود. نمونه‌گیرهای سه جداره دنیسون (Denison) (شکل 3-5) و پیچر (Pitcher Sampler) (شکل 3-6) از انواع نمونه‌گیرهای دورانی مناسب برای خاکهای ریزدانه محسوب می‌شوند که اشکالات فوق‌الذکر در آنها وجود ندارد.



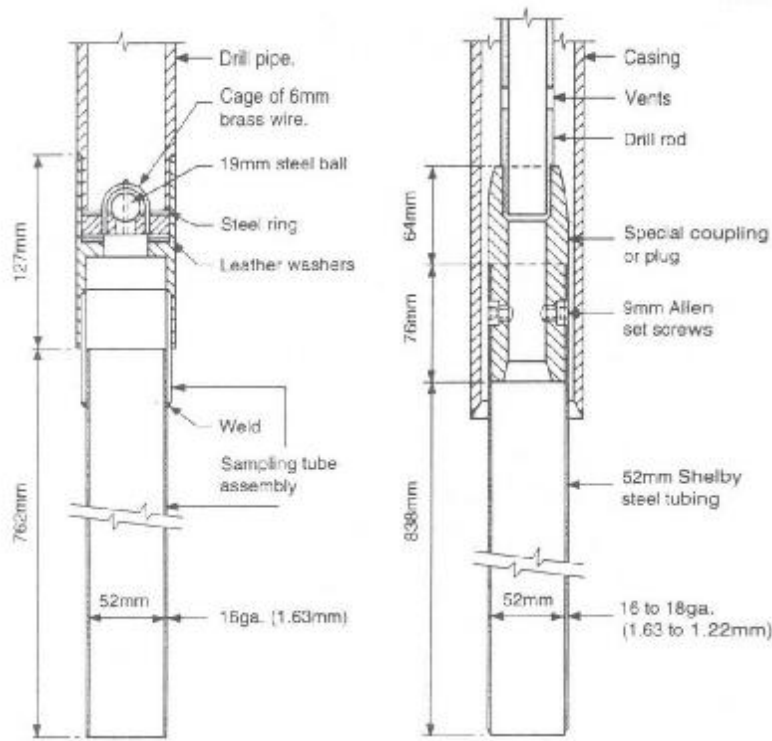
شکل (2-3): نمونه گیر کربارل (Core Barrel)



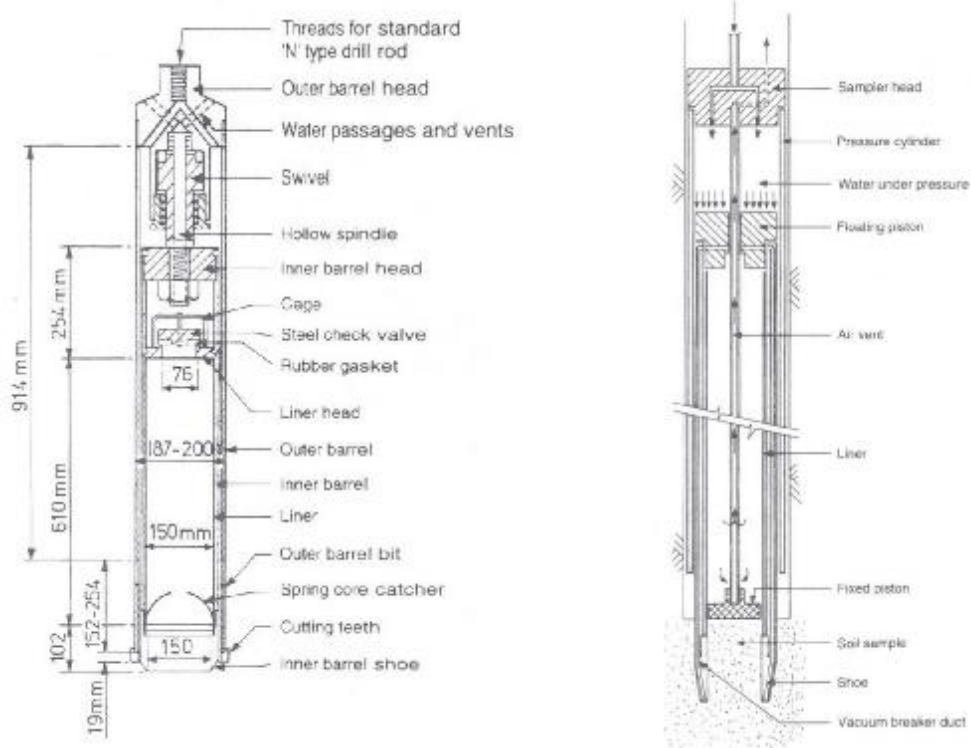
شکل (1-3): نمونه گیر SPT

۳-۲-۳- حفاری و نمونه‌گیری در بستر دریا

حفاری و نمونه‌گیری در بستر دریا نسبت به عملیات مشابه در خشکی مشکل‌تر است و لازم است توسط مشاور ژئوتکنیک مجرب صورت پذیرد. روش معمول در چنین شرایطی قراردادن تجهیزات حفاری بر روی سکوی ثابت پایه‌دار (Jackup Platform) و یا بارج (Barge) شناور می‌باشد. حفاری از طریق لوله‌های فولادی (Casing) که حداقل تا کف دریا ادامه می‌یابند انجام می‌گیرد. استفاده از این روش در اعماق نسبتاً کم مناسب است. نمونه‌گیری به یکی از روشهای اشاره شده قبلی که با نوع مصالح تناسب دارد، صورت می‌پذیرد.



شکل (3-3): نمونه‌گیرهای جدار نازک (Thin Walled Open Drive or Shelby Tube Sampler)

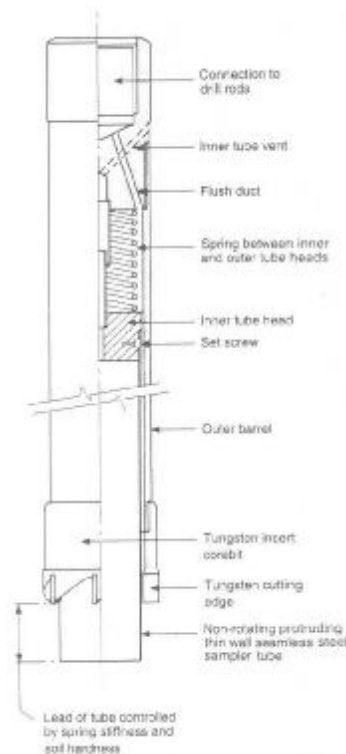


شکل (5-3): نمونه‌گیر سه جداره

(Denison Triple Tube Core Barrel)

شکل (4-3): نمونه‌گیر پیستونی

(Piston Sampler)



شکل (3-6): نمونه‌گیر پیچر (Pitcher)

۳-۳- آزمایش‌های برجا

آزمایش‌های برجا که در کشور رایج بوده و در این منطقه بسته به مورد کاربرد دارند به قرار زیر می‌باشند:

- ◆ آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)
- ◆ آزمایش پرسیومتری (PMT - Pressuremeter Test)
- ◆ آزمایش کاوشگر دینامیکی (Dynamic Sounding Test)
- ◆ آزمایش بارگذاری صفحه
- ◆ آزمایش برش مستقیم درجا
- ◆ روش‌های ژئوفیزیکی (سطحی یا درون‌چاهی)
- ◆ آزمایش دانسیته برجا

آزمایش نفوذ استاندارد غالباً در ضمن حفاری گمانه‌ها انجام می‌پذیرد. اما باید به این نکته توجه داشت که نتایج آزمایش SPT در خاک‌های دانه‌ای درشت کاربرد محدودی دارد. دانه‌های درشت شن و قلوه‌سنگ داخل نمونه‌گیر SPT نمی‌گردد و ضربات عمدتاً در حد Refusal بدست خواهد آمد. محدودیت دیگر این آزمایش آن است که شاخصی از چسبندگی ناشی از سیمانتاسیون خاک‌های دانه‌ای بدست نمی‌دهد.

برای تعیین مدول عکس‌العمل جانبی و مدول الاستیک خاک می‌توان از آزمایش پرسیومتری استفاده نمود. اما یادآور می‌گردد که انجام آزمایش پرسیومتری در خاکهای درشت‌دانه با مشکلات و پیچیدگی‌های فراوانی روبرو است.

چنانچه اندازه‌گیری چسبندگی ناشی از سیمان‌تاسیون مد نظر باشد، آزمایش برش مستقیم برجا توصیه می‌شود. انجام این آزمایش نیاز به تجربه و تمهیدات خاصی دارد.

آزمایش دانسیته برجا برای اندازه‌گیری وزن مخصوص لایه‌ها در عمق‌های مختلف بکار برده می‌شود.

۳-۴- آزمایشهای آزمایشگاهی

آزمایشهای مختلف آزمایشگاهی هم در مرحله شناسائی مقدماتی و هم در مرحله شناسائی برای طراحی بر روی نمونه‌های دست‌خورده و دست‌نخورده انجام می‌پذیرد. این آزمایشها را می‌توان به آزمایشهای فیزیکی، مکانیکی، دینامیکی و شیمیائی تقسیم نمود. در اینجا توصیه‌های فنی در مورد هر گروه، متناسب با شرایط منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس، ارائه می‌شود. آزمایشهای لازم برای منابع قرضه در بخش 4-1 ارائه شده است.

۳-۴-۱- آزمایشهای خواص فیزیکی

خواص متعارف فیزیکی خاک شامل دانه‌بندی، حدود اتربرگ، وزن مخصوص، رطوبت طبیعی و توده ویژه (Gs) است. برای این منظور می‌توان از نمونه‌های دست‌خورده و دست‌نخورده بسته به مورد استفاده نمود.

۳-۴-۲- آزمایشهای مکانیکی

این آزمایشها شامل تحکیم، تک‌محوری، سه‌محوری و برش مستقیم است که نتایج حاصل را می‌توان برای تعیین پارامترهای مقاومتی و تغییرشکل‌پذیری بکار برد. انتخاب نوع آزمایش مناسب بستگی به دانه‌بندی و سایر شرایط خاک دارد. ترکیب بهینه و شرایط هر آزمایش که برای منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس مناسب باشد به شرح زیر است:

♦ آزمایش برش مستقیم با جعبه بزرگ (30×30 سانتیمتر) بر روی نمونه‌های بازسازی شده با دانسیته محل، برای تعیین زاویه اصطکاک داخلی خاکهای درشت‌دانه که در خاکریزها استفاده می‌شوند (مصالح قرضه) مناسب است.

♦ آزمایش تحکیم برای لایه‌های چسبنده به منظور تعیین OCR، P_C ، e_o ، C_C ، C_r و C_v بر روی نمونه‌های منتخب به عمل می‌آید.

♦ برای خاکهای ریزدانه دارای چسبندگی که امکان تهیه نمونه دست‌نخورده فراهم باشد، آزمایش تک‌محوری و آزمایش سه‌محوری CU با اندازه‌گیری تغییرات فشار آب حفره‌ای، توصیه می‌گردد.

۳-۴-۳- آزمایشهای دینامیکی

منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس از لحاظ لرزه خیزی با خطر نسبی زیاد ناحیه بندی شده است. از طرف دیگر در بیشتر پروژه های این منطقه پی ها تحت تاثیر ارتعاشات ناشی از ماشین آلاتی مانند ژنراتور و کمپرسور قرار می گیرند. بنابراین تعیین خواص دینامیکی خاک در پروژه های با اهمیت، ضرورت می یابد. بدین منظور آزمایشهای ستون تشدید و سه محوری دینامیکی توصیه می گردند.

با استفاده از آزمایش ستون تشدید می توان مدول برشی دینامیکی و همچنین ضریب میرایی خاک را ارزیابی کرد.

با استفاده از آزمایش سه محوری تحکیم یافته - زه کشی نشده (CU) دینامیکی توام با اندازه گیری تغییرات فشار منفذی می توان اثرات تکرار بار و سرعت بارگذاری را بر خواص مکانیکی خاک (پارامترهای تغییر شکل پذیری و مقاومتی) مطالعه کرد.

۳-۴-۴- آزمایشهای شیمیائی خاک و آب

برای بررسی اثرات خوردگی تاثیر شیمیایی خاک و آب بر فلزات سازه های مدفون در خاک و نیز بتن، لازم است که خواص شیمیایی آب و خاک در لایه های در تماس با آنها شناسائی شود. از بارزترین اهداف این بررسی تعیین نوع سیمان مصرفی در بتن می باشد. مهم ترین این خواص عبارتند از:

♦ درصد سولفات، کلر، pH، ...

♦ مقاومت در مقابل اسید و باز و سایر مواد خورنده شیمیائی که از تاسیسات نصب شده ممکن است نشأت نماید

♦ هدایت و مقاومت الکتریکی (Electrical Resistivity/Conductivity)

۳-۵- نحوه پردازش پارامترهای ژئوتکنیکی

در پردازش پارامترهای ژئوتکنیکی موارد زیر باید مورد نظر قرار گیرد.

نتایج خام یا تصحیح نشده آزمونهای برجا مانند SPT بر روی نیمرخ گمانه ها و یا بصورت نمودارهای مستقل ارائه می گردد. نتایج نهایی این آزمونها، پس از اعمال تصحیحات لازم، مانند تصحیح مربوط به روبار موثر در آزمایش SPT، در نمودارهای جداگانه ای ارائه می شود.

چگونگی پردازش آماری پارامترهای ژئوتکنیکی مربوط به لایه های مختلف زمین باید در متن گزارش به روشنی شرح داده شود. این توضیح شامل موارد زیر خواهد بود:

♦ ناهنجاریهای قابل ملاحظه و نیز داده های ناهنجاری که کنار گذاشته شده اند

♦ روش آماری و حدود اطمینان انتخاب شده برای تشخیص داده های ناهنجار

♦ مقادیر حداکثر، میانگین، حداقل و انحراف استاندارد پارامترهای مقاومت برشی و نشست پذیری

♦ ضرایب اطمینان بکار برده شده در تعیین مقادیر مجاز طراحی (فشار مجاز پی، ...)

در پروژه‌های خطی (پل، خاکریز راه،...) نیمرخ ژئوتکنیکی زمین در امتداد محور پروژه و در پروژه‌های دیگر حداقل دو نیمرخ در دو امتداد متقاطع ارائه شود. در نمایش نیمرخ ژئوتکنیکی زمین، مرزهای برون‌یابی شده لزه‌ها و لایه‌ها و سطح آب زیرزمینی با خط‌چین نشان داده شود.

در صورت وجود ناسازگاری مشهود و مهم بین داده‌های بدست آمده از آزمایش‌های مختلف برای یک لایه یا لزه معین، لازم است دلایل این عدم انطباق مورد بحث قرار گیرد؛ این ناسازگاری می‌تواند ناشی از عوامل زیر باشد:

- ◆ عدم رعایت استاندارد آزمایش (از لحاظ روش انجام آزمایش و یا دستگاه به کار برده شده)
- ◆ خطای انسانی (قرائت اشتباه،...)
- ◆ نقص پیش‌بینی نشده دستگاه (گیج آسیب دیده،...)
- ◆ دست‌خوردگی ناشی از روش حفاری و روش نمونه‌برداری

چنانچه موقعیت هندسی یک واحد ژئوتکنیکی بخصوص (لایه، لزه) بعزت وجود ناسازگاری بین داده‌های تجربی، مورد تردید بوده و تغییرات محتمل از اهمیت زیاد برخوردار باشد، باید این ناسازگاری مورد بحث قرار گرفته و حدود اطمینان در مورد موقعیت انتخاب شده برای زمین، حداقل بصورت کیفی، ذکر شود.

در صورتیکه مرزبندی بین لایه‌ها در حد فاصل بین گمانه‌ها علاوه بر نتایج حاصل از این نقاط مبتنی بر اطلاعات دیگری مانند گزارشها و نقشه‌های زمین‌شناسی مهندسی موجود و نتایج مطالعات ژئوتکنیکی انجام شده در زمینهای مجاور باشد، لازم است نحوه تلفیق اطلاعات توضیح داده شده و مراجع مورد استفاده به روشنی ذکر شود.

در هر موردی که پارامترهای ژئوتکنیکی لایه‌ها و کمیت‌های طراحی، خارج از روش‌های آماری رایج و تنها بر اساس قضاوت مهندسی گزارش و اصلاح شده باشد، لازم است میزان اصلاح و دلایل آن به روشنی در گزارش تشریح شود.

در پایان گزارش و طی یک بند جداگانه، باید موارد عمده نقص داده‌های تجربی در مقایسه با اهداف اولیه و نیازهای نهایی طرح شرح داده شود. همچنین تاثیر این نواقص بر روی حاشیه اطمینان پارامترهای ژئوتکنیکی مورد بحث قرار گیرد. در صورت لزوم پیشنهاد مطالعات تکمیلی ارائه گردد.

فصل چهارم

آماده‌سازی زمین

در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس، بعلت پستی و بلندی‌های موجود در زمین‌های دور از ساحل، تخصیص زمین برای تعدادی از پروژه‌های صنعتی پس از تسطیح آنها صورت گرفته است. در جریان این عملیات آماده‌سازی، عمق خاکریزهای انجام شده در محل بعضی از مسیل‌ها و آبروها نسبتاً زیاد بوده است. طراحی نامناسب این خاکریزها و عدم کنترل کافی در هنگام اجرای آنها، انتخاب کاربری زمین‌های خاکریزی شده را با ابهام مواجه ساخته و بررسی‌های ژئوتکنیکی پر هزینه‌ای را ایجاد می‌کند. اصول فنی و ملاحظات کلی طراحی و اجرای این خاکریزها موضوع بخش حاضر را تشکیل می‌دهد.

در این راهنما، منظور از آماده‌سازی زمین تسطیح زمین‌های شیب‌دار و یا ناهموار جهت احداث کارخانه، تاسیسات صنعتی و یا ساختمانهای اداری و مسکونی در آنها است. این اصطلاح شامل استحصال زمین از دریا نمی‌شود. در جریان آماده‌سازی، بخش‌هایی از زمین که تراز آنها پائین‌تر از سطح نهایی پیش‌بینی شده برای تسطیح است، بوسیله خاکریزی و یا بعبارت دیگر بوسیله ریختن و کوبیدن لایه‌های خاک و یا سنگریز پر و تسطیح می‌شود. این خاکریزها را، در صورتیکه احداث ساختمان، سازه و تاسیسات صنعتی، روسازی راه، خیابان و پیاده‌رو و محوطه‌های پارکینگ و انبار بر روی آنها پیش‌بینی شده باشد، "خاکریزهای مهندسی" می‌نامیم.

۴-۱- اصول کلی طراحی خاکریزهای مهندسی

خاکریزهای مهندسی باید براساس مطالعات ژئوتکنیکی زمین موجود و قرضه‌های در دسترس از یک سو و مشخصات دقیق یا تقریبی سازه‌ها و روسازی‌هایی که قرار است و یا ممکن است بر روی آنها استقرار یابند، از سوی دیگر، طراحی شوند. این طراحی‌ها شامل انتخاب محدوده دانه‌بندی خاک‌های مورد استفاده در لایه‌های مختلف، ضخامت لایه‌ها، میانگین و حداقل تراکم نسبی مورد نیاز برای هر لایه، محدوده رطوبت مجاز مصالح ریخته شده، نوع و تعداد غلتک‌های مورد نیاز و حداقل تعداد عبور غلتک از هر نقطه لایه می‌باشد. علاوه بر این لازم است نوع، استاندارد و تواتر آزمایش‌هایی که بر روی مصالح قرضه و نیز بر روی مصالح ریخته شده انجام خواهد گرفت و نیز موقعیت مکانی نمونه‌گیری‌ها و آزمون‌های برجا و معیارهای پذیرش و یا عدم پذیرش لایه‌های اجرا شده مشخص گردد.

به منظور طراحی خاکریزهای مهندسی، باید توپوگرافی زمین در محدوده مقیاس $1/200$ تا $1/1000$ برداشت شده و مطالعات اکتشافی ژئوتکنیکی لازم انجام شود. اهداف اصلی این مطالعات شامل شناسایی مشخصات فیزیکی و مکانیکی لایه‌های زمین طبیعی تا عمق مورد نیاز، شناسایی محدوده و ضخامت خاکهای دستی، دست‌خورده و نیز خاکهای آلی، شناخت عمق آب زیرزمینی و بررسی قابلیت کاربرد مصالح حاصل از خاکبرداری (سنگ‌برداری) در خاکریزهای مهندسی می‌باشد. این مطالعات را می‌توان با حفر چاه‌های اکتشافی دستی و یا حفر ترانشه‌های اکتشافی بوسیله بیل مکانیکی شروع کرد. آرایش، تعداد، عمق و طول این چاه‌ها و ترانشه‌ها بوسیله مشاور

ژئوتکنیک تعیین می‌گردد. بعنوان یک راهنما، می‌توان برای یک زمین نسبتاً هموار و دست‌نخورده شبکه‌ای از چاه‌های دستی به عمق 4 متر و به فواصل 50 متر در نظر گرفت. چنانچه زمین برای پروژه معینی آماده‌سازی می‌شود، در صورت امکان باید مطالعات ژئوتکنیکی آماده‌سازی به همراه مطالعات ژئوتکنیکی مرحله اول پروژه انجام شود. در غیر اینصورت، مطالعه ژئوتکنیکی جداگانه‌ای برای آماده‌سازی لازم خواهد بود. طراحی خاکریزهای مهندسی باید بوسیله و یا با نظر متخصص ژئوتکنیک انجام داده شود. نکات مهمی که در این طراحی باید مورد توجه قرار گیرند بقرار زیر هستند:

- ◆ لازم است مقاطع عرضی و طولی ژئوتکنیکی زمین، بویژه در امتداد توده‌های خاک دستی، تهیه شده و خلاصه نتایج کلیه آزمایش‌های انجام شده در جدولی در زیر مقاطع ارائه شود. موقعیت گمانه‌های واقع در امتداد مقطع یا در نزدیکی آن در روی این نیمرخ‌ها نشان داده خواهد شد.
- ◆ در صورتیکه مشاور ژئوتکنیک صلاح بداند که خاکهای دستی بدون هیچ‌گونه تغییر و یا پس از اصلاح بکمک روشهایی مانند تراکم دینامیکی در جای خود بمانند، لازم است گزارش توجیهی خود را جهت تایید به کارفرما تسلیم کند.
- ◆ مشخصات فنی عمومی حاکم بر اجرای خاکریزهای مهندسی، از سطح زمین موجود تا بستر روسازی‌های راه و خیابان و نیز از سطح زمین موجود تا فاصله a از زیر پی‌های سازه‌ها و تاسیسات صنعتی، طبق فصل عملیات خاکی (فصل ۲) نشریه شماره ۱۰۱ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (ویرایش ۱۳۸۲) توصیه می‌شود. همچنین برای محدوده a از زیر پی‌ها مشخصات فنی عمومی در فصل زیراساس (فصل ۱۲) همان نشریه ملاک می‌باشد. فاصله a بسته به نوع و اهمیت سازه‌ها و ابعاد پی‌ها توسط مشاور طراح انتخاب می‌شود. در صورتیکه در هنگام طراحی آماده‌سازی، موقعیت و نوع سازه‌ها معلوم نباشد، مقدار a را می‌توان برابر یک متر در نظر گرفت.
- ◆ ترتیب استفاده از مصالح قرضه‌ها باید بگونه‌ای انتخاب شود که هر لایه که ریخته می‌شود حتی‌المقدور از مصالح همگن تشکیل یافته و ضمناً مصالح بهتر در ترازهای بالاتر بکار برده شود.

۴-۲- ملاحظات مربوط به نظارت بر اجرای خاکریزهای مهندسی

- ◆ نظارت مستمر کارگاهی و عالی بر اجرای خاکریزهای مهندسی باید توسط کارشناس ژئوتکنیک صورت گیرد.
- ◆ در پروژه‌های بزرگ توصیه می‌شود قبل از شروع، پارامترهای اصلی اجرای خاکریزها مانند حداکثر ضخامت لایه‌ها، نوع غلتک مناسب و تعداد عبور لازم غلتک با اجرای خاکریز آزمایشی تعیین گردد.
- ◆ همگن بودن مصالح هر لایه و یکنواخت بودن میزان تراکم نهایی آن شروط اساسی برای کاهش نشست‌های نسبی است. علاوه بر این، لازم است حتی‌المقدور از به کار بردن مصالح حاوی بیشتر از 20% ریزدانه و نیز خاکهای با توزیع دانه‌بندی گسسته (Gap Graded) احتراز شود.
- ◆ کنترل تراکم لایه‌ها باید بر اساس کنترل همزمان تعداد غلتک پیش‌بینی شده در طرح (کنترل حین تراکم) و نیز کنترل وزن مخصوص خشک لایه کوبیده شده (کنترل پایانی) صورت گیرد.

♦ ناظر ژئوتکنیک باید نقشه‌ها و مشخصات فنی حین اجرای (As Built) تک تک لایه‌ها شامل موقعیت مکانی لایه، ضخامت کوبیده شده لایه، نتایج آزمایشهای آزمایشگاهی و محلی بر روی مصالح قرصه مورد استفاده و لایه متراکم شده، موقعیت تقریبی آزمون‌های تراکم درجا و نمونه‌گیری‌ها از لایه، تاریخ اجرا، شرایط آب و هوایی در هنگام اجرا، نوع غلتک بکار برده شده و تعداد عبور غلتک را تهیه نماید.

۴-۳- ملاحظات مربوط به طراحی پی‌های سطحی در زمین‌های آماده‌سازی شده

♦ تخصیص کاربری زمین‌های آماده‌سازی شده باید بنحوی صورت گیرد که حتی‌المقدور از احداث سازه‌های سنگین یا حساس به نشست بر روی خاکریزهای مهندسی اجتناب شود. احداث ساختمان‌ها و ابنیه متعارف بر روی خاکریزهای مهندسی بلامانع است.

♦ احداث یک سازه معین بر روی بستری متشکل از زمین طبیعی و خاکریز مهندسی و یا بر روی خاکریز مهندسی با ضخامت بسیار متغیر توصیه نمی‌شود، مگر اینکه کارشناس ژئوتکنیک همکار طراح سازه برآورد قابل اعتمادی از میزان نشست‌های نسبی ارائه کرده و این نشست‌ها بوسیله سازه قابل تحمل باشند. علاوه بر این، لازم است تاثیر ناهمگنی بستر بر روی اندرکنش سازه و زمین در هنگام زلزله مورد بررسی قرار گیرد.

♦ زمین‌هایی که آماده‌سازی آنها تحت نظارت فنی کافی صورت نگرفته باشد، باید توسط کارشناس ژئوتکنیک مورد بررسی قرار گرفته و مرز و حدود خاکهای دستی تعیین شده و با انجام بهسازی مناسب برای احداث سازه آماده شود.

♦ در مورد زمین‌هایی که آماده‌سازی آنها تحت نظارت فنی کافی انجام شده و مدارک فنی حین اجرا بخوبی تهیه شده باشد نیز ممکن است تعداد محدودی از آزمایش‌های کنترلی به منظور حصول اطمینان از کیفیت تراکم خاکها لازم دانسته شود.

فصل پنجم

طراحی مهندسی ژئوتکنیکی

روش طراحی سازه، ترکیب بارها، کارایی (Performance) پیش‌بینی شده برای سازه، ضرایب اطمینان یا حاشیه‌های اطمینان مورد نیاز برای حالات حدی نهایی و بهره‌برداری، شرایط پیرامونی موثر بر رفتار پی (دما، احتمال نفوذ اسید، ...)، مقادیر مجاز نشست، دوران و حرکت افقی پی‌ها و سایر عوامل مشترک طراحی سازه و پی باید توسط گروه کار متشکل از مهندس طراح سازه، مهندس طراح پی، مهندس مسئول و یا ناظر مطالعات ژئوتکنیکی و مهندس طراح تاسیسات مورد بحث و بررسی قراردادده شود. شرایط و کمیت‌های تعیین‌کننده طراحی پی‌ها باید طی صورت جلسه‌ای به تصویب برسد و نکات فنی اصلی آن بر حسب مورد در مقدمه گزارش مطالعات ژئوتکنیکی (ر.ک. پیوست ب) و گزارش طراحی‌های ژئوتکنیکی آورده شود.

۵-۱- معیارهای نشست سازه‌ها

۵-۱-۱- مقدمه

از دیدگاه ژئوتکنیکی دو معیار اصلی در تحلیل پی‌ها عبارتند از:

الف) تامین ظرفیت باربری با ضریب اطمینان کافی

ب) محدود ساختن نشست به مقادیر قابل تحمل برای سازه

تعیین و تعریف مقادیر قابل تحمل نشست و یا به اصطلاح "نشست‌های مجاز" برای انواع مختلف سازه‌ها، به علت پیچیدگی اندرکنش سه بخش سازه- شالوده (یا شمع)- خاک، مسئله بسیار مشکلی است که به روش‌های تجربی و یا به روش‌های نظری راه حل عام و کلی برای آن نمی‌توان یافت. با این وجود، براساس گردآوری نتایج مشاهدات، توصیه‌های ساده‌ای در مورد مقادیر مجاز نشست سازه‌ها در مراجع پی‌سازی ارائه شده است. اما باید توجه داشت که این مقادیر برای حالات مربوط به بناهای متداول و عمدتاً ساختمان‌های مسکونی و اداری با توزیع بار نسبتاً یکنواخت و زمین‌های با نیمرخ ژئوتکنیکی نسبتاً ساده پیشنهاد شده است؛ بنابراین کاربرد آنها در هر مورد خاص باید با احتیاط کافی صورت بگیرد. در شرایط پیچیده، ممکن است لازم باشد که به جای روش متداول کنترل نشست‌ها، یعنی محاسبه نشست پی‌ها بصورت مستقل از سازه و مقایسه آنها با "مقادیر مجاز نشست"، اندرکنش سازه-پی به کمک روش‌هایی مانند روش اجزاء محدود تحلیل شود.

۵-۱-۲- مقادیر مجاز نشست در انواع زمین‌ها

بطور کلی آسیب‌های ناشی از نشست را می‌توان به چهار گروه تقسیم کرد:

♦ آسیب به نما و زیبایی عمومی بنا

♦ اختلال در بهره‌برداری از سازه یا تاسیسات مستقر در آن

♦ آسیب به اجزا سازه

♦ ایجاد تهدید برای پایداری سازه

نمونه‌هایی از مقادیر مجاز نشست نسبی ساختمانها که بوسیله محققین معروف پیشنهاد شده در جدولهای (1-5) و (2-5) بعنوان مثال ارائه شده است. شکل (1-5) نحوه محاسبه میزان اعوجاج و خیز نسبی برای استفاده از این جداول را نشان می‌دهد. مقادیر ارائه شده در جدول، معطوف به آسیب‌های بسیار کم و یا کم و یا به عبارت دیگر به آسیب‌های نوع اول و دوم فوق می‌باشند.

باید توجه نمود که انتخاب مقادیر مجاز نشست کوچکتر از اندازه‌هایی که در مراجع پیشنهاد شده و یا از سوی سازندگان تاسیسات صنعتی توصیه می‌شود، بویژه در زمین‌های سست و نرم، در بیشتر موارد به طرح غیر اقتصادی پی‌ها منجر می‌شود.

در مورد مقادیر مجاز نشست مطلق پی "ساختمانها"، حدود مندرج در زیر از سوی بیشتر مراجع پذیرفته شده است:

الف- خاکهای درشت‌دانه

در این نوع زمین‌ها، حداکثر نشست نسبی پی‌های تکی مجاور نباید بیشتر از 20 میلیمتر باشد که متناظر است با 25 میلیمتر نشست مطلق هر کدام از پی‌ها.

برای پی‌های گسترده ترزاقی و پک حداکثر نشست مطلق شالوده را 50 میلیمتر و اسکمپتون و مک‌دونالد 40 تا 60 میلیمتر پیشنهاد کرده‌اند.

ب- خاکهای ریزدانه

برای رس‌ها اسکمپتون و مک‌دونالد حداکثر نشست نسبی بین ستونهای مجاور را 40 میلیمتر پیشنهاد می‌کنند. این مقدار متناظر است با حدود 65 میلیمتر نشست مطلق برای هر کدام از پی‌های تکی و حدود 100 میلیمتر حداکثر نشست مطلق در پی‌های گسترده.

در جدول (3-5) مقایر حدی انتخاب شده برای حداکثر اعوجاج یا دوران (Angular Distortion) ناشی از نشستهای ناهمسان پی سازه‌های مختلف به نقل از دستنامه مهندسی پی کانادا به عنوان نمونه ارائه شده است (Canadian Foundation Engineering Manual, 1996).

جدول (5-1): مقادیر توصیه شده برای اعوجاج (Angular Distortion) ساختمان‌های مسکونی و اداری

ساختمان با اسکلت و دیوارهای باربر مسلح - مقادیر مجاز DS/L				
Bjerrum (1963)	Polshin & Tokar (1957)	Meyerhof (1956)	Skempton & MacDonald (1956)	محقق / وضعیت
1:500	1:500 (1:1000 تا 0/7 :1000) برای دهانه‌های انتهایی)	1:500	1:300 مقدار توصیه شده: 1:500	ترک خوردگی در دیوارها
1:200	1:200	1:250	1:150	آسیب دیدگی سازه

ΔS : اختلاف نشست بین دو پی مجاور

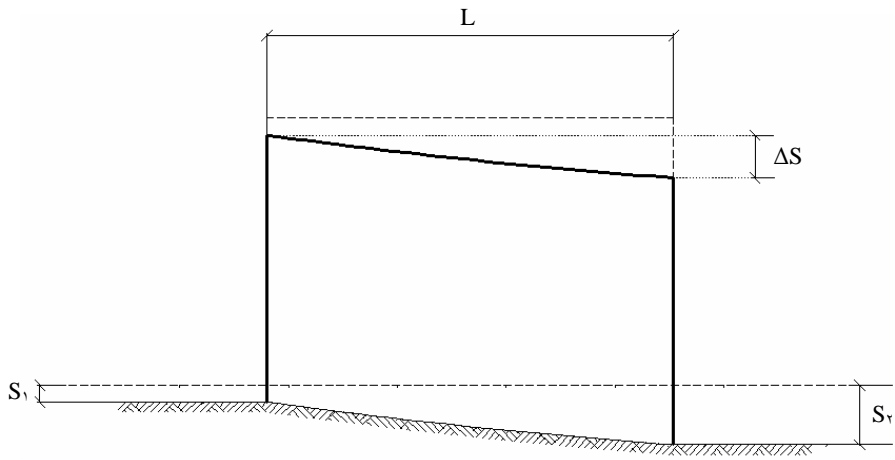
L: فاصله بین دو پی مجاور

جدول (5-2): مقادیر توصیه شده برای خیز نسبی ساختمان‌های مسکونی و اداری

دیوارهای بنایی باربر غیر مسلح - مقادیر مجاز خیز نسبی			
Burland & Wroth (1974)	Polshin & Tokar (1957)	Meyerhof (1956)	محقق / وضعیت
L/H = 1 برای 1:2500 L/H = 5 برای 1:1250	از 1:3500 تا 1:2500 برای L/H < 3 از 1:2000 تا 1:1500 برای L/H < 5	1:2500	ترک خوردگی در حالت خیز U شکل (تقعر رو به بالا)
L/H = 1 برای 1:5000 L/H = 5 برای 1:2500	-	-	ترک خوردگی در حالت خیز ∩ شکل (تقعر رو به پایین)

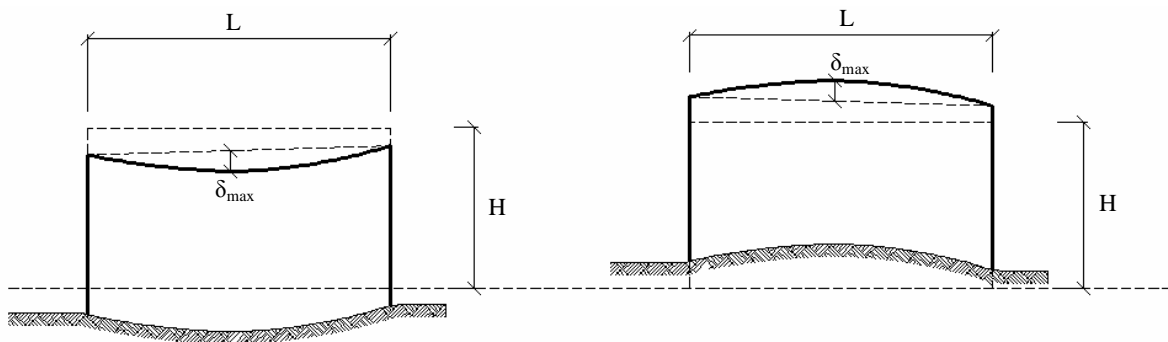
H: ارتفاع دیوار

L: طول دیوار



$$\Delta S = S_2 - S_1$$

اعوجاج (Angular Distortion) $\Delta S/L$



شکل (1-5): نحوه محاسبه اعوجاج (Angular Distortion) و خیز نسبی
برای استفاده از جدولهای (1-5) و (2-5)

جدول (3-5): مقادیر حدی اعوجاج (Angular Distortion) ناشی از نشست ناهمسان پی
برای سازه‌های مختلف

ردیف	نوع سازه و نوع حالت حدی	DS/L
۱	حد خطرناک برای سازه‌های معین از لحاظ استاتیکی و دیوارهای نگهبان	۰/۰۱
۲	حد ایمن برای سازه‌های معین از لحاظ استاتیکی و دیوارهای نگهبان	۰/۰۰۶۷
۳	خطرناک برای قابهای باز فولادی و بتنی، مخازن فولادی و دوران (Lift) سازه‌های بلند صلب	۰/۰۰۶۷
۴	حد ایمن برای قابهای باز فولادی و بتنی، مخازن فولادی و دوران (Lift) سازه‌های بلند صلب	۰/۰۰۴
۵	حد خطرناک برای دیوارهای سازه‌های متشکل از قاب و برای پایه‌های کنار پل‌ها	۰/۰۰۴
۶	حد قابل مشاهده دوران سازه‌های بلند	۰/۰۰۴
۷	حد شروع مشکل برای جرثقیلهای سقفی	۰/۰۰۳۳
۸	حد ایمن برای سازه‌های موضوع ردیف ۵	۰/۰۰۲
۹	حد خطرناک نشست ناهمسان با تقعر رو به بالا برای دیوارهای غیر مسلح	۰/۰۰۲
۱۰	حد شروع مشکل برای ماشین‌آلات حساس به نشست	۰/۰۰۱۳
۱۱	حد ایمن نشست ناهمسان با تقعر رو به بالا برای دیوارهای باربر غیر مسلح	۰/۰۰۱
۱۲	حد خطرناک نشست ناهمسان با تقعر رو به پایین برای دیوارهای باربر غیر مسلح	۰/۰۰۱
۱۳	حد ایمن نشست ناهمسان با تقعر رو به پایین برای دیوارهای باربر غیر مسلح	۰/۰۰۰۵

ΔS : اختلاف نشست بین دو پی مجاور

L: فاصله بین دو پی مجاور

۵-۱-۳- سازه‌های صنعتی و خاص

در مورد سازه‌های صنعتی لازم است پیش از شروع عملیات گمانه‌زنی، کارشناسان طراح تاسیسات صنعتی، طراح سازه و مسئول مطالعات ژئوتکنیکی طی جلسه مشترکی مقادیر مجاز نشست و تغییر مکان افقی پی‌ها را تعیین کرده و صورت جلسه نمایند. در صورتیکه نتایج عملیات گمانه‌زنی و یا آزمایشها نشان‌دهنده پیچیدگی خارج از انتظار شرایط ژئوتکنیکی زمین باشد، کارشناس ژئوتکنیک می‌تواند مقادیر کوچکتری را برای نشست پی‌ها پیشنهاد کند. گزارش توجیهی مکتوبی که کارشناس ژئوتکنیک در این زمینه ارائه می‌دهد، در جلسه‌ای با حضور طراحان تاسیسات صنعتی و سازه مورد بررسی قرار گرفته و معیارهای نشست مورد توافق طی صورتجلسه‌ای به تایید می‌رسد.

۵-۲- طراحی روشهای بهسازی زمین

۵-۲-۱- مقدمه

بهبود خواص ژئوتکنیکی خاک درجا برای استفاده در یک ساختار جدید و مقاومتر بهسازی نامیده می‌شود. هدف از بهسازی زمین افزایش ظرفیت باربری و کاهش نشست‌پذیری خاکهای طبیعی و خاکریزهای مصنوعی در برابر بارهای وارده و (یا) کاهش نفوذپذیری آنهاست. بطور کلی روشهای گوناگون بهسازی در مناطق مختلف با اهداف بهبود کیفی زمین، علاج بخشی، پایدارسازی حفاریها، کنترل آب زیرزمینی و کنترل آلودگی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

قبل از احداث سازه‌های مورد نظر باید خصوصیات زمین نظیر نشست‌پذیری و مقاومت برشی مورد ارزیابی قرار گرفته و براساس آن و با توجه به بارهای وارده و نوع زمین، روش بهسازی مناسب انتخاب شود. پس از بهسازی می‌توان از پی‌های مناسب سطحی استفاده نمود.

بطور کلی عملیات بهسازی زمین در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس را می‌توان در سه گروه اصلی طبقه‌بندی نمود که به ترتیب اهمیت عبارتند از بهسازی بخشهای استحصالی از دریا، بهسازی خاکریزها (مانند مسیلهای پر شده) و رسوبات درشت‌دانه و بالاخره بهسازی مناطق سست ریزدانه در بخش شرقی (خلیج نایبند). در این بخش ابتدا نکات اصلی در ارتباط با بهسازی مطرح و سپس روشهای مناسب بهسازی برای نواحی مختلف منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس بررسی خواهد شد. در انتها روش بهسازی اصلی مورد استفاده در مناطق استحصالی یعنی تراکم دینامیکی، مورد بررسی دقیق‌تر قرار گرفته و نکات ویژه در ارتباط با کاربرد این روش در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس ارائه خواهد شد.

۵-۲-۲- انواع روشهای بهسازی

روشهای مختلف بهسازی به شش گروه اصلی بشرح زیر تقسیم می‌شوند:

روشهای تراکمی، روشهای ایجاد چسبندگی، روشهای مسلح سازی، روشهای حفاری - جایگزینی، روشهای تغییرات فیزیکی و شیمیایی و بالاخره روشهای تبدیل بیولوژیکی.

بسته به جزئیات اجرایی و ماشین‌آلات مورد استفاده، هر یک از این روشها به شیوه‌های مختلف اجرا می‌شوند که در ادامه به آنها اشاره می‌شود.

- ♦ روشهای تراکمی: تراکم دینامیکی، پیش‌بارگذاری با (یا بدون) زهکشهای مصنوعی، تراکم ارتعاشی، ایجاد ستونهای سنگی با جایگزینی ارتعاشی، تزریق تراکمی و انفجارات عمقی
- ♦ روشهای ایجاد چسبندگی: تزریقهای دوغابی (سیمان،...)، تزریق شیمیایی، انجماد و اختلاط عمقی خاک

- ♦ روشهای مسلح‌سازی: تسلیح خاک با تسمه‌های فلزی، ژئوگریدها و ژئوتکستایلها، مهارهای خاک و سنگ، ستونهای سنگی با جایگزینی ارتعاشی، ستونهای بتنی ارتعاشی، ریزشمع‌ها، دیوارهای بتنی زیرزمینی (دیافراگم،...)، میخ‌کوبی، تزریقهای شکافتی، اختلاط خاک با زاینده‌های لاستیک، الیاف و منسوجات

- ♦ روشهای حفاری - جایگزینی: اجرای دیوارهای دوغابی (سیمان - بنتونیت، بتن پلاستیک و ...)، تزریق با فشار بالا و خاکبرداری و خاکریزی مجدد
 - ♦ روشهای تغییرات فیزیکی و شیمیایی: الکترواسمز، ستونهای آهکی (اختلاط)، سیستمهای تزریق شیمیایی، ایجاد لعاب و اختلاط خاک
 - ♦ روشهای تبدیل بیولوژیکی: سیستمهای بیولوژیکی و یا تزریقهای محرکی، پوشش گیاهی و کاهش آنزیمی
- در پیوست "ج" این راهنما جزئیات بیشتر برخی از روشهای فوق توضیح داده شده است.

5-2-3- معیارهای اصلی انتخاب روش بهسازی

انتخاب روش مناسب بهسازی به عوامل متعددی بستگی دارد که موارد مهم آن عبارتند از: هدف بهسازی، نوع و اندازه دانه‌های خاک، عمق و میزان مورد نیاز بهسازی، محدودیتهای زمانی و مالی، ماشین‌آلات و تجهیزات اجرایی موجود. در پیوست "ج" توضیحات بیشتری در ارتباط با معیارهای انتخاب روش بهسازی مناسب ارائه شده است.

5-2-4- روشهای مناسب بهسازی در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس

همانگونه که اشاره شد عملیات بهسازی در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس در سه بخش متمایز بهسازی زمینهای استحصالی از دریا، بهسازی خاکریزها و رسوبات درشت‌دانه سست و بهسازی زمینهای ریزدانه و نرم بخش شرقی انجام می‌گیرد. لازم به ذکر است که در حال حاضر بخش اصلی و عمده عملیات بهسازی در مناطق استحصالی انجام می‌گیرد، اما در مراحل بعدی توسعه و سرمایه‌گذاری در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس، بهسازی در سایر مناطق نیز می‌تواند مطرح باشد.

در مورد بخشهای استحصالی از دریا استفاده از روشهای بهسازی تراکمی و بخصوص تراکم دینامیکی (Dynamic Compaction) و تراکم ارتعاشی (Vibro-compaction) مناسب می‌باشد. در ادامه این بخش توضیحات تکمیلی در این رابطه ارائه شده است.

با توجه به جنس خاک در نواحی شرقی منطقه که عمدتاً از لایه‌های ریزدانه اشباع تشکیل شده است روشهای بهسازی نظیر پیش‌بارگذاری، روشهای تراکم ارتعاشی جایگزینی (Vibro-replacement)، شمع-ها، ریزشمعها، ژئوسینتتیکها و اختلاط عمقی خاک ممکن است مورد استفاده قرار گیرند.

در مناطق ساحلی درشت‌دانه با توجه به بالا بودن تراکم و سیمان‌تاسیون نسبی موجود، عملیات بهسازی عمقی معمولاً ضرورت ندارد. البته در بخشهایی که از خاکریزی و تسطیح در خط القعرها بوجود می‌آیند، لازم است تا عملیات تراکم با دقت کافی انجام گیرد و استفاده از روشهای تراکمی سطحی نظیر غلتکهای ارتعاشی در این نواحی کفایت می‌نماید (جهت توضیحات بیشتر به فصل 4 رجوع شود).

در صورتیکه در جریان عملیات قبلی آماده‌سازی زمین در منطقه، در نقاطی عملیات خاکریزی و تراکم تحت شرایط فنی مناسب و با کنترل‌های لازم صورت نگرفته باشد، لازم است که با استفاده از روشهای مناسب نظیر تراکم دینامیکی، تزریق و یا ریزشمع؛ بهسازی در چنین مناطقی انجام گیرد.

5-2-5- انتخاب روشهای مناسب بهسازی برای انواع سازه‌ها

با توجه به نوع سازه و میزان بارهای اعمال شده، از روشهای خاص بهسازی ممکن است استفاده شود. این روشها بسته به مورد به قرار زیر است:

- ◆ برجها و دودکشهای بلند: پی عمیق و شمع
- ◆ مخازن: تراکم دینامیکی، ستونهای سنگی، اختلاط عمیق خاک و پیش‌بارگذاری
- ◆ سازه‌های با درجه اهمیت بالا: تزریق، شمع و ستونهای بتنی ارتعاشی
- ◆ جاده‌ها و محوطه‌سازی: تراکم ارتعاشی، تعویض سطحی خاک و خاکریزی و پیش‌بارگذاری

5-2-6- نکات طراحی و اجرایی روش تراکم دینامیکی

5-2-6-1- مقدمه

همانگونه که اشاره شد روش اصلی بهسازی مورد استفاده در مناطق استحصالی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس تراکم دینامیکی است. این روش که از دیرباز برای بهسازی زمین مورد استفاده بوده است، از جمله روشهای تراکمی است که در آن افزایش تراکم خاک از طریق انتقال انرژی مربوط به سقوط آزاد مکرر وزنه‌های سنگین چند تنی (تا حدود 50 تن) از ارتفاع زیاد (تا حدود 30 متر) بر روی سطح زمین انجام می‌گیرد. پارامترهایی نظیر جنس و دانه‌بندی مصالح، سطح آب زیرزمینی و ماشین‌آلات و امکانات اجرایی نظیر مشخصات جرثقیل و وزنه‌ها در کارایی این روش تاثیر اساسی دارند. با توجه به استفاده گسترده از این روش و احتمال بهره‌گیری از آن در سایر مناطق استحصالی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس در آینده، لازم است تا طراحی، اجرا و کنترل کیفیت آن با دقت بالا انجام گیرد.

5-2-6-2- ملاحظات طراحی

تراکم دینامیکی معمولاً در چند مرحله با الگوهای متفاوت در هر مرحله انجام می‌گیرد که اصطلاحاً به تراکم مرحله اول (Primary Pass)، تراکم مرحله دوم (Secondary Pass)، تراکم مرحله سوم (Tertiary Pass) و اطوکشی (Ironing Pass) موسوم هستند. در هر مرحله مشخصات جرثقیل و وزنه، ارتفاع، دفعات و محل سقوط وزنه‌ها متفاوت خواهد بود. پس از بهسازی عمقی در هر مرحله، لازم است تا با ماشین‌آلات و تجهیزات مناسب، مسطح‌سازی و پرکردن چاله‌های ایجاد شده در اثر سقوط وزنه‌ها انجام گیرد. هنگام انجام عملیات تراکم دینامیکی لازم است تا توجه ویژه به ایمنی عوامل انسانی، جرثقیل، سازه‌ها و ابنیه مجاور مبذول گردد.

5-2-6-3- کنترل کیفیت بهسازی مناطق استحصالی

تراکم دینامیکی در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس با اهدافی نظیر افزایش مقاومت، کاهش نشست و تراکم‌پذیری و کاهش احتمال وقوع روانگرایی انجام می‌گیرد. بر اساس گزارشهای منابع مختلف و مشاهدات، مصالح مورد استفاده در مناطق استحصالی عمدتاً درشت‌دانه با درصد ریزدانه کمتر از 20 درصد است. وزنه‌های مورد استفاده حداکثر 35 تن و بیشترین ارتفاع سقوط 24 متر بوده است. بمنظور کنترل عملیات بهسازی و اطلاع از میزان حصول اهداف و تراکم بدست آمده در اعماق مختلف، لازم است تا در هنگام و پس از اتمام عملیات، کنترل کیفیت انجام گیرد. برای این منظور می‌بایست معیار قبولی و پذیرش عملیات بهسازی بصورت واضح و دقیق در مشخصات فنی قراردادهای مربوط درج گردد. برای کنترل موفقیت عملیات تراکم دینامیکی استفاده از آزمایشهای صحرائی زیر توصیه می‌شود:

- ◆ آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)
- ◆ آزمایش پرسیومتری (Pressuremeter)
- ◆ استفاده از روشهای ژئوفیزیکی سطحی و عمقی (Geophysical Methods)
- ◆ استفاده از نفوذگر Becker Hammer
- ◆ آزمایش بارگذاری صفحه؛ بزرگ مقیاس 1/5 متر × 1/5 متر و بارگذاری منطقه‌ای (Zone Test) 4متر × 4متر

5-2-6-4- پیشنهادات و توصیه‌ها

براساس مشاهدات انجام شده و تجارب موجود از عملیات بهسازی در مناطق استحصالی، توجه به پیشنهادات و توصیه‌های زیر می‌تواند در افزایش بازدهی، کنترل و میزان موفقیت عملیات موثر باشد:

- ◆ طراحی دقیق الگو، جانمایی و جزئیات اجرایی عملیات تراکم دینامیکی قبل از آغاز آن
- ◆ نصب نشانه‌های سطحی و عمقی برای کنترل نشست
- ◆ نصب پیژومترهای مناسب در اعماق مختلف برای تعیین سطح آب زیرزمینی و یا فشار آب حفره‌ای موضعی
- ◆ نصب ارتعاش‌سنج در برخی موارد
- ◆ توجه به جدایش (Segregation) مصالح و احتمال پدیدآمدن مناطق ضعیف و مستعد روانگرایی در اعماق
- ◆ تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی از مناطق استحصالی بهسازی شده (Improvement Microzonation)
- ◆ مسائل مربوط به موجشکن‌ها و جتی‌ها (Jetty)

۵-۳- طراحی پی‌های سطحی

۵-۳-۱- تعاریف و دامنه کاربرد

بخش حاضر توصیه‌های مربوط به طراحی پی‌های سطحی را ارائه می‌کند. در این بخش کلمه “پی” (Foundation) مجموع سازه پی، که به آن “شالوده” (Footing) گفته می‌شود و زمین زیر را که تحت تاثیر بار منتقل شده از شالوده قرار دارد، در بر می‌گیرد. هر جا که تنها سازه پی مد نظر باشد، اصطلاح “شالوده” و هر جا که تنها زمین زیر شالوده مورد نظر باشد، اصطلاح “زمین پی” بکار برده خواهد شد. سطح استقرار شالوده بر روی زمین “کف پی” و اختلاف تراز کف پی نسبت به تراز دائمی سطح زمین مجاور “عمق پی” نامیده خواهد شد. پی‌های سطحی شامل پی‌های تکی یا منفرد (Spread Footings)، پی‌های مرکب (Combined Footings) و پی‌های گسترده یا رادیه (Mat Foundations) هستند. از جمله پی‌های مرکب می‌توان به پی‌های نواری (Strip Footings) و پی‌های باسکولی (Cantilever Footings) اشاره نمود.

۵-۳-۲- هدف

پی‌های سطحی باید بگونه‌ای طراحی شوند که سازه‌های متکی بر آنها بتوانند کارایی (Structural Performance) پیش‌بینی شده در طول عمر مفید خود را حفظ کنند. بدین منظور طراحی پی باید بنحوی انجام پذیرد که سطح ایمنی مورد نظر برای سازه و نیز قابلیت بهره‌دهی آن را تحت اثر بارگذاری‌های مورد انتظار تامین کند. بر این اساس، طرح باید ضریب اطمینان (Safety Factor) و یا قابلیت اطمینان (Reliability) کافی را برای دو گروه وضعیت حدی شامل حالت حدی نهایی (Ultimate Limit State) و حالت حدی بهره‌برداری (Serviceability Limit State) فراهم کند.

۵-۳-۳- حالات حدی

دو گروه حالت حدی در طراحی پی‌های سطحی در نظر گرفته می‌شود:

الف - حالات حدی نهایی

حالت حدی نهایی به حالت بحرانی که قبل از آن، سازه به وضعیت شکستگی (Collapse) یا واژگونی (Overturning) نمی‌رسد، گفته می‌شود. در مورد زمین پی، حالت حدی نهایی عبارتست از وضعیتی که قبل از آن سازه در اثر فقدان ظرفیت باربری پی یا لغزش شالوده یا چرخش شالوده دچار ناپایداری کلی نمی‌شود. در مورد خود شالوده، حالت حدی نهایی وضعیتی است که قبل از آن خرابی تردشکن (Brittle Damage) پدیدار نشده و نیروهای وارد به سازه شالوده قابل تحمل باشند. حالات حدی نهایی به قرار زیر هستند:

♦ ناپایداری کلی سازه (Overall Instability)

♦ حصول ظرفیت باربری پی (Bearing Resistance Failure)، فرورفتگی (Punching) و فشردگی (Squeezing)

♦ گسیختگی همزمان شالوده و زمین پی

♦ شکست سازه در اثر حرکت پی

ب - حالات حدی بهره‌برداری

به شرایط بحرانی که تا قبل از آن قابلیت استفاده از سازه در اثر نشست یا حرکت افقی یا چرخش محفوظ باشد، حالت حدی بهره‌برداری می‌گویند. در مورد خود شالوده این حالت به سطحی از آسیب‌دیدگی گفته می‌شود که تا قبل از آن به ترمیم شالوده نیاز نباشد. حالات حدی بهره‌برداری عبارتند از:

♦ نشست غیرمجاز

♦ بالاآمدگی غیرمجاز در اثر تورم، یخبندان، ...

♦ لرزش غیرمجاز

۵-۳-۴- بارهای وارد بر پی

بارهایی که معمولاً در طراحی پی‌های سطحی در نظر گرفته می‌شوند، عبارتند از:

♦ بارهای مرده شامل وزن روبنا (Superstructure) و وزن شالوده

♦ بارهای متغیر، مانند بارهای زنده، نیروهای اینرسی ناشی از زلزله، نیروی باد، نیروی امواج و نیروهای ناشی از ضربه

♦ نیروهای اینرسی ناشی از زلزله که در اعضای شالوده بوجود می‌آیند

♦ وزن مصالح پرکننده پشت دیوارها (Backfill)

♦ نیروی رانش خاک (رانش محرک، در حال سکون، مقاوم)

♦ نیروی ناشی از فشار آب

♦ نیروی شناوری (Buoyancy)

♦ سایر نیروها؛ مانند نیروی ناشی از تورم خاک اطراف شالوده

۵-۳-۵- مطالعه ژئوتکنیکی

نوع و ابعاد پی، عمق استقرار و روش اجرای آن با استفاده از نتایج مطالعات ژئوتکنیکی و تجربه موجود انتخاب می‌شود. روش‌های مطالعه ژئوتکنیکی در فصل 3 شرح داده شده است.

۵-۳-۶- عوامل طراحی

در طراحی پی‌های سطحی باید شرایط عمومی زیر در نظر گرفته شوند:

- ◆ توپوگرافی زمین
- ◆ وضعیت ژئومکانیکی زمین
- ◆ ویژگی‌ها، اهمیت و حساسیت سازه‌ها
- ◆ ش
- ◆ رايط پيرامونی (سازه‌های مجاور، گودبرداری‌های پیش‌بینی شده در مجاورت سازه مورد مطالعه،...)
- ◆ شرایط محیطی و اقلیمی (تغییرات دمای محیط، نفوذ اسیدها و سایر مواد شیمیایی به داخل زمین، آب زیرزمینی، لرزه‌خیزی منطقه،...)
- ◆ شرائط و کیفیت اجرا

۵-۳-۷- بررسی‌های لازم در طراحی پی‌های سطحی

بررسی‌های لازم در طراحی پی‌های سطحی عبارتند از:

- ◆ بررسی پایداری عمومی زمین پی (روانگرایی، ناپایداری عمومی شیب مجاور سازه،...)
 - ◆ بررسی ظرفیت باربری پی
 - ◆ بررسی نشست و دوران سازه
 - ◆ بررسی بالآمدن (Uplift) سازه در اثر نیروی آب
 - ◆ بررسی لغزش و واژگونی شالوده
 - ◆ بررسی شکسته‌شدن و آسیب‌دیدگی اجزاء شالوده
- بسته به مورد، ممکن است انجام بعضی از بررسی‌های فوق برای طرح مورد مطالعه لازم نباشد. در طراحی برخی از سازه‌ها لازم است همچنین حرکت افقی زمین پی مورد بررسی قرار گیرد.

۵-۳-۸- عمق استقرار پی

در انتخاب عمق استقرار پی‌های سطحی ملاحظات زیر باید در نظر گرفته شود:

- ◆ رسیدن به لایه باربر مناسب
- ◆ عمق آب زیرزمینی، نوسان آن و نیز مسائل ناشی از آن در صورتیکه گودبرداری باید در زیر تراز آب زیرزمینی اجرا شود
- ◆ حرکات بالقوه زمین در اثر گودبرداری و تاثیر آن بر سازه‌های مجاور

- ◆ تاثیر گودبرداری مربوط به سازه‌ها و یا خطوط و تاسیسات زیرزمینی که ساخت آنها در مجاورت سازه مورد مطالعه پیش‌بینی شده است
- ◆ دمای بسیار کم یا بسیار زیاد که از تاسیسات موجود به زمین پی منتقل خواهد شد
- ◆ امکان آب‌شستگی زمین پی (Scouring)
- ◆ امکان نفوذ اسیدها و سایر مواد مضر در زمین پی

۵-۳-۹- طراحی بر مبنای حالات حدی نهایی

الف - پایداری کلی

پایداری سازه در برابر لغزش‌های عمیق باید بویژه در حالات زیر مورد بررسی قرار داده شود:

- ◆ در مجاورت شیب‌های طبیعی یا مصنوعی
- ◆ در مجاورت یک گودبرداری و یا یک دیوار نگهبان
- ◆ در مجاورت کانال، خور، دریا و استخر

ب- ظرفیت باربری

باربری نهایی پی‌ها را می‌توان به دو روش تحلیلی و نیمه تجربی محاسبه نمود.

روش تحلیلی

در این روش، ظرفیت باربری پی واقع بر روی لایه‌های خاک ریزدانه باید در دو حالت زهکشی نشده و زهکشی شده محاسبه شود. برای پی‌های واقع در خاک‌های درشت‌دانه، تحلیل ظرفیت باربری پی در مقابل بارهای استاتیکی (بارگذاری آهسته) در حالت زهکشی شده صورت می‌گیرد. در حالاتی که لایه‌بندی زمین بگونه‌ای باشد که نتوان از روابط متعارف ظرفیت باربری استفاده نمود، لازم است از مدل‌های عددی بهره گرفته شود.

روش نیمه تجربی

روش‌های نیمه‌تجربی، مانند روش‌هایی که مستقیماً بر اساس نتایج آزمایش‌هایی مانند آزمایش نفوذ استاندارد و آزمایش پرسیومتری ظرفیت باربری پی را بدست می‌دهند، در صورتی به تنهایی قابل استفاده هستند که مطابقت نتایج آنها با نتایج روش‌های مستقیم قبلاً در پروژه‌های منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس مورد امتحان قرار گرفته باشد.

ج- مقاومت در مقابل لغزش

مقاومت پی‌ها در مقابل لغزش، حاصل جمع مقاومت در مقابل لغزش کف شالوده و رانش مقاوم زمین اطراف است. در محاسبه رانش مقاوم خاک پیرامون، لازم است سازگاری حرکات افقی پی در حالت حدی مورد بررسی، با میزان رانش مقاوم برانگیخته شده مورد توجه قرار داده شود.

د- شکست سازه در اثر حرکت پی

باید کنترل شود که حرکات نسبی قائم، افقی و دوران پی‌ها شکست اعضای سازه را بدنبال نداشته باشد.

۵-۳-۱۰- طراحی بر مبنای حالات حدی بهره‌برداری**الف- نشست**

در ارزیابی مقادیر نشست‌ها لازم است از تجربه موجود بویژه از نتایج رفتارنگاری‌های (Monitoring) انجام شده در منطقه بخوبی استفاده شود. محاسبه و کنترل نشست‌ها باید بر اساس مقادیر و ضرایب بارهای بهره‌برداری سازه انجام پذیرد.

تغییر مکان شالوده باید، هم بصورت تغییر مکان کلی شالوده و هم تغییر مکان‌های نسبی آن، مدنظر قرار گیرد. لازم است که تاثیر شالوده‌ها و نیز خاکریزهای مجاور بر روی نشست پی در نظر گرفته شود. مقادیر بدست آمده از محاسبات نشست باید به عنوان مقادیر تقریبی و نه به عنوان مقادیر دقیق بکار برده شوند. در محاسبه نشست‌های پی باید موارد زیر در نظر گرفته شود:

◆ نشست لحظه‌ای یا نشست ارتجاعی

◆ نشست ناشی از تحکیم

◆ نشست ناشی از خزش

عمق تاثیر پی برای محاسبه نشست را می‌توان حداقل برابر با عمقی در نظر گرفت که در آن تنش قائم موثر ناشی از بار پی برابر 20% تنش موثر روبار (Effective Overburden) باشد.

در مورد خاکریزها، خاک‌های دستی و زمین‌های استحصالی لازم است نشست‌های ناشی از تراکم بویژه تحت اثر بارهای تناوبی نیز مورد ارزیابی قرار گیرد. برای محاسبه نشست‌ها می‌توان از مدل‌های خطی و یا غیرخطی برای خاک استفاده نمود.

ب - بالا آمدگی (Heave)

بالا آمدگی پی‌ها می‌تواند در اثر علل زیر باشد:

◆ کاهش تنش موثر بر اثر بالا آمدن تراز آب زیرزمینی

◆ بالا آمدگی ناشی از بارگذاری در زمین‌های مجاور

♦ تورم خاکهای غیراشباع تورم پذیر محاسبه بالآآمدگی باید بر حسب مورد در دو حالت کوتاه مدت و دراز مدت انجام شود.

ج - حرکات لرزشی

طراحی پی سازه‌هایی که تحت تاثیر بارهای لرزشی قرار می‌گیرند باید برای حرکات لرزشی و تغییرشکل‌های ناشی از لرزش کنترل گردد. خطر وقوع تشدید (Resonance) در اثر نزدیکی تواتر طبیعی زمین-سازه با تواتر لرزش و نیز احتمال وقوع پدیده روانگرایی در اثر لرزش باید مورد بررسی قرار گیرد. لازم است همچنین کاهش احتمالی خواص مقاومتی و سختی خاک زیر پی در اثر لرزش مورد توجه قرار گیرد.

۵-۳-۱۱- شرایط خاص منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس از لحاظ طراحی پی‌های سطحی

در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس پی‌ها اغلب بر روی زمین‌های متشکل از آبرفت‌های درشت‌دانه متراکم و کم و بیش سیمانته شده، در بعضی مناطق بر روی سنگ بستر از جنس سنگهای آهکی توده‌ای یا کنگلومرا یا سنگهای مارنی، در بخش‌هایی از زمین‌های آماده‌سازی شده بر روی خاکریزهایی که ممکن است بعضاً در شرایط کنترل شده‌ای اجرا نشده باشند و بالاخره در زمین‌های استحصال شده ساخته می‌شوند. نکات مهمی که در طراحی پی‌های سطحی در زمین‌های مذکور باید مورد توجه قرار گیرند عبارتند از:

الف - آبرفت‌های طبیعی درشت‌دانه

این آبرفت‌ها اغلب در حالت طبیعی و دست‌نخورده خود از سختی و مقاومت برشی زیادی برخوردارند. در تعدادی از طرح‌های سابق، کمیت‌های مربوط به این ویژگی‌ها دست‌پایین ارزیابی شده و طرح‌های محاذله کارانه‌ای برای پی‌های سطحی سازه‌ها ارائه و اجرا شده‌اند. لازم است که مقادیر محاسباتی مربوط به این ویژگی‌ها بخصوص ضریب چسبندگی ناشی از سیمان‌تاسیون، بصورت واقع بینانه‌ای در طراحی و تحلیل پی‌ها در نظر گرفته شوند.

ب - بسترهای سنگی

بسترهای سنگی معمولاً بسیار مقاوم بوده و مساله خاصی از لحاظ طراحی پی‌های سطحی ندارند، جز اینکه باید سعی شود در مرز تلاقی بستر سنگی با بستر آبرفتی از استقرار یک پی بر روی دو نوع زمین احتراز شود و در صورت اجبار، مساله نشست‌های نامساوی و نیز عدم تجانس حرکت بستر در هنگام زلزله بخوبی مورد بررسی و توجه قرار گیرد.

در صورت برخورد به مارن‌هایی که دوام به وارفنگی (Slake Durability) آنها کم بوده و در مقابل هوازگی حساس باشند، لازم است تمهیدات کافی برای جلوگیری از نفوذ آب‌های سطحی به زیر شالوده و نیز محافظت سطوح شیب‌دار در مقابل فرسایش در نظر گرفته شود.

ج - خاکریزها

نکته اصلی در مورد پی‌های مستقر بر روی خاکریزها شناسایی میزان تراکم آنها بویژه همگنی این تراکم است. با توجه به اینکه خاکریزهایی که تراکم کافی ندارند در معرض نشستهای ناشی از لرزش و تغییرات تراز آب زیرزمینی هستند، لازم است با بررسی سوابق فنی این خاکریزها و انجام آزمایش‌های لازم، مساله نشست‌پذیری زمین پی به دقت مورد مطالعه قرار گیرد.

۵-۴- طراحی پی‌های عمیق (شمع‌ها)

۵-۴-۱- مقدمه

در این بخش توصیه‌های لازم برای کاربرد و انتخاب نوع شمع مناسب برای نواحی ژئوتکنیکی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس ارائه می‌گردد. دستورالعملهایی نیز برای تحلیل و طراحی پی عمیق در پیوست "د" ارائه شده است. توصیه‌های فنی این قسمت چنانچه توسط کارشناسان خبره ژئوتکنیک بکار گرفته شود تاثیر قابل ملاحظه‌ای در ایمن‌سازی و بهینه‌سازی طرح و اجرای شمع در منطقه خواهد داشت. عدم توجه به این توصیه‌ها ممکن است منجر به طرح نامناسب برای شمع و در نتیجه مشکلات فنی و اجرائی عدیده‌ای گردد. تنوع روشهای تحلیل استاتیکی از یکسو و پیچیدگی استفاده مستقیم از نتایج آزمایشهای صحرائی، آزمایش بارگذاری استاتیکی و روشهای دینامیکی (آزمایشهای دینامیکی شمع و تحلیلهای مربوطه) از سوی دیگر ایجاب می‌نماید که از نظرات مهندس با تجربه ژئوتکنیک استفاده شود.

انتخاب جنس شمع مناسب برای هر ناحیه، روش اجرا، عمق مدفون قابل اجرا و قطر مناسب از جمله مهم‌ترین ملزومات طراحی است.

منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس در نواحی خشکی عمدتاً از لایه‌های مقاوم تشکیل شده و در نتیجه برای اغلب سازه‌ها نیازی به پی عمیق نیست. در زمینهای استحصالی ممکن است برای سازه‌های سنگین یا حساس به نشست از پی عمیق استفاده شود. همچنین برای اسکله‌ها می‌توان از سیستم شمع نیز استفاده کرد. در ادامه توصیه‌های لازم برای شرایط ژئوتکنیکی مختلف منطقه ارائه می‌گردد.

۵-۴-۲- شمع در زمینهای طبیعی در ناحیه خشکی

همانطور که در پیوست "الف" توضیح داده شده، لایه‌های خاک در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس در بخش خشکی دارای دو نوع بافت و ساختار مختلف است. نهشته‌های نوع اول از آبرفتهای درشت‌دانه و مقاوم تشکیل شده که بیشتر نواحی منطقه را شامل می‌گردد. نهشته‌های نوع دوم که برخی نواحی شرقی منطقه (حوالی خلیج نایبند) را پوشش داده عمدتاً بافت ریزدانه داشته و شامل ماسه و رس (یا سیلت) و قدری شن است.

در آبرفتهای درشت‌دانه و مقاوم نوع اول برای اغلب سازه‌ها نیازی به استفاده از پی عمیق یا شمع نیست. در صورتیکه سازه بسیار سنگین و یا حساس به نشست بوده، بارهای جانبی زیادی وجود داشته باشد و یا لنگر قابل توجه (مثلاً ناشی از زلزله) در سازه‌های مرتفع موجب واژگونی گردد، استفاده از پی عمیق به عنوان یک گزینه می‌تواند مطرح باشد. در چنین لایه‌هایی کوبش شمع دشوار است و تنشهای اضافی (کششی و فشاری) ناشی از کوبش وجود داشته و نیز عملیات کوبش زمان‌بر و پرهزینه خواهد بود. در نتیجه استفاده از شمع‌های بتنی مسلح پیش‌ساخته معمولی توصیه نمی‌گردد؛ اما ممکن است بتوان از شمع‌های فولادی با نوک باز تقویت شده که در

حین کوبش دچار لهیدگی نشود استفاده کرد. استفاده از شمع درجاریز (Cast-in-place)، به ویژه در شرایطی که چسبندگی کافی برای حفظ جداریه چاه‌های حفاری شده وجود داشته باشد، مناسب خواهد بود. در صورتیکه چسبندگی کم بوده یا حفاری در زیر سطح آب ادامه یابد، باید تدابیر لازم برای محافظت جداره‌ها اندیشیده شود. در زمین‌های ریزدانه نواحی شرقی می‌توان از شمع کوبشی لوله‌ای از جنس فولاد با نوک باز یا بسته استفاده نمود. در صورت استفاده از شمع‌های درجاریز در این مناطق حفاظت جداره‌ها توسط غلاف فولادی (Casing) یا گل حفاری ضروری است.

۵-۴-۳- شمع در زمینهای استحصالی یا آماده‌سازی شده

در زمینهای استحصالی از دریا و زمینهای آماده‌سازی شده در خشکی، که میزان تراکم انجام شده برای سازه‌های خاص سنگین و یا حساس به نشست کفایت نکند، می‌توان از شمع استفاده نمود. با توجه به اینکه این نوع زمینها دارای چسبندگی قابل توجهی نیستند، اگر از قلوه‌سنگها و قطعات درشت در مصالح قرصه استفاده نشده باشد، می‌توان از شمع‌های فولادی کوبشی که در نوک (یا پنجه) تقویت شده‌اند استفاده کرد. در صورت استفاده از شمع‌های درجاریز در زمینهای استحصالی از دریا، با توجه به سطح بالای آب و همچنین سیمان‌تاسیون کم، عملیات حفاری بدون پیش‌بینی تمهیدات ویژه امکان‌پذیر نیست. در چنین شرایطی باید از غلاف فولادی (Casing) و یا در صورت امکان از گل حفاری، به منظور محافظت جداره‌ها و جلوگیری از نفوذ آب استفاده شود.

۵-۴-۴- شمع در داخل آب

برای احداث اسکله‌ها معمولاً از شمع استفاده می‌گردد. انتخاب نوع شمع به وضعیت دانه‌بندی و میزان تراکم لایه‌ها بستگی دارد. با توجه به وجود رگه‌ها و لایه‌های ریزدانه در نواحی نزدیک خشکی در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس، امکان استفاده از شمع‌های کوبشی وجود دارد. از دو نوع شمع برای کوبش در داخل آب می‌توان استفاده نمود. گزینه اول استفاده از شمع‌های فولادی است که در این صورت با توجه به پتانسیل بالای خوردگی منطقه، لازم است تمهیدات مورد نیاز برای جلوگیری از خوردگی شمع‌ها، بویژه در محدوده تحت تاثیر امواج و جزر و مد (Splash Zone)، در نظر گرفته شود. یکی از روشهای متداول استفاده از پوششهای حفاظتی است که متناسب با میزان عوامل خورنده در منطقه باید انتخاب شود.

به عنوان گزینه دوم، می‌توان از شمع‌های بتنی پیش‌ساخته پیش‌تنیده مدور و توخالی که با استفاده از روش گریز از مرکز (Centrifuge) تولید می‌شوند استفاده نمود. این نوع شمع‌ها به شمع‌های Spun نیز موسوم هستند. بتن این شمع‌ها هم دارای نفوذپذیری بسیار پائینی است و هم از مقاومت فشاری بالایی (در حد 80 مگاپاسکال) برخوردار است. ضمناً پیش‌تنیدگی فولادهای طولی موجب افزایش مقاومت کششی این شمع‌ها می‌شود که آنها را به گزینه مناسبی برای استفاده در زمین‌های نسبتاً سخت، که تنشهای فشاری و کششی قابل توجهی در حین کوبش در شمع ایجاد می‌شود، تبدیل می‌نماید.

۵-۴-۵- تحلیل و طراحی

پس از انتخاب نوع شمع در منطقه مورد نظر، تعیین طول و ظرفیت باربری آن از جمله مهم‌ترین مراحل طراحی خواهد بود. گرچه می‌توان از نتایج مطالعات ژئوتکنیک برای تعیین طول لازم استفاده نمود، اما تنوع جنس و تراکم لایه‌ها پیش‌بینی عمق قابل کوبش را دشوار می‌سازد. بطور کلی روش خاصی برای تحلیل و طراحی که بتواند کلیه شرایط مؤثر بر شمع‌ها را در بر گیرد موجود نیست. بنابراین پیشنهاد می‌گردد که بسته به اهمیت و ابعاد پروژه‌هایی که در آنها از شمع استفاده می‌شود، از ترکیبی از روشهایی که در پیوست "د" به آنها اشاره شده استفاده گردد تا ظرفیت باربری و طرح بهینه و قابل اجرا بدست آید.

توصیه می‌شود بر روی تعداد محدودی از شمع‌های درجاریز آزمایش بارگذاری استاتیکی (در صورت امکان تا حد بار نهائی) انجام پذیرد. آزمایش کنترل یکپارچگی و سلامت شمع اجرا شده (PIT) نیز مناسب است. در مورد شمعهای کوبشی اجرای تعدادی شمع آزمایشی (Test Piles) در محدوده اجرای سازه‌ها توصیه می‌گردد. بر روی تعدادی از شمع‌های کوبشی آزمایش دینامیکی (PDA) و تحلیلهای مربوطه (مانند CAPWAP) به منظور تعیین یا کنترل ظرفیت باربری، کنترل احتمال آسیب‌دیدگی در حین کوبش و سایر اطلاعات مفید حاصل از آن انجام پذیرد. برای آشنائی بیشتر با روشهای آزمایش دینامیکی شمع و تحلیلهای مربوطه به پیوست "ه" مراجعه شود.

۵-۵- طراحی دیوارهای حائل، ترانشه‌ها، خاکریزها و خطوط لوله مدفون

۵-۵-۱- دیوارهای حائل

در طراحی دیوارهای حائل پس از انتخاب نوع دیوار به موارد زیر باید توجه شود: ظرفیت باربری و نشست پی دیوار، کنترل پایداری کلی دیوار و خاکریز پشت آن، زاویه اصطکاک بین دیوار و پی و خاکریز پشت دیوار، روش و جزئیات سیستم زهکشی پشت دیوار، نحوه تغییر شکل دیوار و خاک پشت آن، بارهای خارجی وارده، مصالح خاکریز پشت دیوار و روش و ماشین‌آلات مورد استفاده جهت تراکم آن.

۵-۵-۲- ترانشه‌ها

در طراحی ترانشه‌ها موارد زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

ابعاد هندسی خاکبرداری، خصوصیات مقاومتی مصالح، برآورد و ارزیابی سیمانتاسیون طبیعی، پایداری ترانشه در کوتاه مدت و درازمدت، سیستم زهکشی و کنترل سطح آب زیرزمینی و پوشش مناسب برای کنترل فرسایش سطحی.

۵-۵-۳- خاکریزها

عموماً از خاکریزها در این منطقه به صورت دائمی استفاده می‌شود. خاکریزهای دائم عمده‌تاً بعنوان بستر مناسب برای مسیرهای دسترسی، لوله‌ها و کانالها مورد استفاده قرار می‌گیرند. توضیحات بیشتر در این رابطه در فصل چهارم و نیز فصل پنجم بند ۵-۳-۱۱-ج ارائه شده است.

۵-۴-۵ - خطوط لوله مدفون

از خطوط لوله مدفون برای ارتباط تاسیساتی مخازن، انتقال فرآورده‌های سوختی و مایعات و منظورهای مشابه استفاده می‌شود. جنس این لوله‌ها میتواند از موادی نظیر فولاد، چدن، پی وی سی، پلیمر مسلح شده با الیاف شیشه‌ای (GRP) و بتن باشد.

لازم است تا خصوصیات ژئوتکنیکی محل تا کمی بیش از عمق دفن لوله‌ها، نوسانات سطح آب زیرزمینی، خواص ژئوتکنیکی و ترکیب املاح شیمیائی موجود در مصالح پرکننده روی لوله‌ها، نحوه اتصال لوله‌ها و سایر جزئیات اجرائی نظیر بلوکهای مهارى اتصالات و انشعابات (Anchor Block یا Thrust Block) در طراحی بطور کامل مشخص باشد. همچنین لازم است نشستهای ناهمسان بخشهای مختلف خط لوله، در اثر عبور آن از مناطق با مصالح مختلف مورد توجه قرار گیرد.

تذکر: با توجه به سطح لرزه‌خیزی بالای منطقه، در طراحی و تحلیل سازه‌های فوق، اثر بارگذاری زلزله باید مد نظر قرار گیرد.

۵-۶-۵ - طراحی ابزارگذاری و رفتارسنجی**۵-۶-۱-۵ - اهداف**

بطور کلی استفاده از ابزارهای مختلف در منطقه برای ارزیابی رفتار سازه‌های زیرزمینی و یا روزمینی با اهداف زیر می‌تواند انجام گیرد:

- ◆ شناسایی وضعیت موجود
- ◆ کنترل کیفیت و ایمنی عملیات اجرائی
- ◆ ارزیابی رفتار محدوده اجرا پس از انجام عملیات بهسازی و یا احداث سازه‌های مورد نظر
- ◆ ارزیابی پارامترهای طراحی و تهیه بانک اطلاعاتی برای استفاده در پروژه‌های مشابه آتی

۵-۶-۲-۵ - پارامترهای مورد نظر و ابزار متناسب

در این قسمت با توجه به شرایط خاص منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس کلیات ابزار دقیق قابل استفاده در این منطقه به ترتیب اهمیت مورد بحث قرار گرفته و در هر مورد خصوصیات ابزارهای مناسب ارائه خواهد شد.

الف - پیزومتر (Piezometer)

از پیزومترها برای مشخص نمودن سطح آب زیرزمینی، اندازه‌گیری فشار آب حفره‌ای در نقاط مختلف، تعیین نرخ نشست و میزان پیشرفت تحکیم، تخمین نفوذپذیری و کنترل کیفیت آب استفاده می‌شود. در این منطقه می‌توان از پیزومتر کاساگرانده و یا پیزومتر الکتریکی تارمرتتش استفاده نمود. در مناطق استحصالی با توجه به بافت درشت‌دانه مصالح باید تدابیر لازم در مورد محافظت از لوله‌ها و یا کابل‌های پیزومترها در حین نصب و عملیات بهسازی بعمل آید.

ب - نشست سنج (Settlementmeter)

با توجه به نشست‌پذیری لایه‌های خاک در مناطق سست و مناطق استحصالی، از این ابزار برای اندازه‌گیری نشستهای مطلق و ناهمسان که در اثر احداث سازه‌های روزمینی و یا انجام عملیات بهسازی اتفاق می‌افتد، می‌توان استفاده نمود. معمول‌ترین نوع این ابزارها نشست‌سنج هیدرولیکی و نشست‌سنج موسوم به USBR می‌باشد.

پ - نقاط نشانه سطحی (Surfacial Settlement Point)

از این ابزار برای اندازه‌گیری میزان نشستها و جابجائی‌های سطحی در منطقه به ویژه در نواحی استحصالی استفاده می‌شود.

ت - انحراف سنج (Inclinometer)

در پی سازه‌های حساس نظیر برجها و دودکشها و نیز بر روی خاکریز بالای دیوارهای حائل برای اندازه‌گیری میزان و نرخ انحراف پی از این ابزار استفاده می‌شود. در صورت ترکیب این ابزار با سیستم اندازه‌گیری نشست می‌توان نشستهای داخلی خاک پی را نیز اندازه‌گیری نمود.

ج - فشارسنج خاک (Soil Pressuremeter)

از این ابزار برای اندازه‌گیری فشار قائم خاک در زیر سازه‌های ویژه میتوان استفاده نمود. با استفاده از اطلاعات ثبت شده توسط این ابزار فرضیات مرحله طراحی تدقیق شده و با تلفیق این اطلاعات با نتایج حاصل از پیژومترها، مقادیر تنشهای مؤثر قابل محاسبه خواهند بود. از نظر نوع، پیشنهاد می‌شود تا در صورت نیاز از فشارسنجهای صفحه‌ای تارمرتعش استفاده گردد.

د - شتاب‌سنج (Accelerometer)

با توجه به بالا بودن سطح لرزه‌خیزی منطقه و با توجه به وجود سازه‌های حساس و با اهمیت بالا، لازم است تا در نقاط مختلف شتاب‌سنجهای مناسب و مورد نیاز نصب گردد. این ابزار در ارتفاعات مختلف سازه‌هایی نظیر برجها و دودکشها قابل استفاده است.

و - کشیدگی سنج (Extensometer)

از این ابزار برای اندازه‌گیری نیرو و تغییرشکل بین دو یا چند نقطه هم راستا استفاده می‌شود. این اندازه‌گیری ممکن است در پروژه‌های حساس به نیروی کششی و تغییرشکل در سطح زمین و یا شیروانیهای خاکی با احتمال لغزش انجام گیرد. معمول‌ترین نوع، کشیدگی‌سنج مغناطیسی (Magnetic Probe Extensometer) می‌باشد.

ه - دوران سنج (Tiltmeter)

در سازه‌های بلند که به انحراف حساس می‌باشند (مانند برجها، دودکشها و دکلها) در صورت لزوم، استفاده از دوران‌سنج برای اندازه‌گیری میزان انحراف توصیه می‌گردد. متداولترین نوع، دوران‌سنج پاندولی می‌باشد.

۵-۷- ژئوتکنیک لرزه‌ای

۵-۷-۱- مقدمه

قرارگیری منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس در ناحیه با خطر نسبی زیاد از نظر لرزه‌خیزی از یک سو و اهمیت سازه‌ها و تاسیسات مختلف از سوی دیگر ایجاب می‌کند تا بررسی‌های ژئوتکنیک لرزه‌ای با توجه به موارد زیر بعمل آید.

۵-۷-۲- خطرات محتمل

روانگرایی

با توجه به دانه‌ای بودن مصالح، وضعیت لایه‌های ریخته شده و بالا بودن سطح آب زیرزمینی در مناطق استحصالی، احتمال وقوع روانگرایی در این بخشها بالاست. وقوع روانگرایی در جزایر استحصالی Port Island و Roku Island ژاپن در زلزله سال ۱۹۹۵ کوبه، نمونه‌ای از روانگرایی در مناطق مشابه نواحی استحصالی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس است.

در سایر مناطق نیز در صورتیکه شناسایی‌های ژئوتکنیکی وجود لایه‌های با استعداد روانگرایی را نشان دهد، لازم است تا بررسی‌های مربوط به احتمال وقوع روانگرایی و بروز آن در سطح و نشست‌های ناشی از آن انجام گیرد.

اثر ساختگاه و تشدید ارتعاشات

تجربه زلزله‌های مختلف نشان داده است که اثر ساختگاه و تشدید امواج زلزله توسط رسوبات سطحی می‌تواند میزان و توزیع خرابی‌ها را تحت تاثیر شدید قرار دهد. بنابراین لازم است تا این امر در طراحی سازه‌های با اهمیت بالا نظیر مخازن، برجها و دودکشها مورد بررسی و توجه قرار گیرد.

۵-۷-۳- نکات طراحی

در طراحی مقاوم سازه‌ها در برابر بارگذاریه‌های لرزه‌ای برای منطقه مورد نظر لازم است تا به موارد زیر توجه گردد:

- ♦ ظرفیت باربری دینامیکی پی‌های معمولی و پی ماشین‌آلات
- ♦ پایداری لرزه‌ای شیروانیها، خاکبرداریها و دیوارهای حائل
- ♦ ارزیابی تاسیسات مربوط به شریانهای حیاتی نظیر خطوط لوله سطحی یا مدفون و شبکه‌های انتقال برق
- ♦ بررسی اندرکنش سازه‌ها با پی (Soil-Structure Interaction) و سازه‌ها با یکدیگر

در مورد سازه‌های با اهمیت بالا و خاص می‌بایست آنالیز دینامیکی انجام گیرد. در طراحی سازه‌های معمولی و با اهمیت کم لازم است تا از توصیه‌ها و شرایط آیین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران استفاده شود. بدیهی است که میزان ارتعاشات در نظر گرفته شده و شدت بار دینامیکی مورد استفاده در طراحی دینامیکی، باید منطبق با سطوح لرزه‌ای مناسب (MCE، DBE، ...) و منطبق با شرایط لرزه‌خیزی منطقه، میزان ریسک قابل پذیرش و طول عمر سازه باشد.

اطلاعات کلی در مورد خصوصیات لرزه‌خیزی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس در بند ۹ پیوست "الف" ارائه شده است.

فصل ششم

مشاوره و نظارت بر عملیات ژئوتکنیکی طرح

با توجه به اهمیت مسائل ژئوتکنیکی در طرحهای منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس، حضور گروه کارشناسی ژئوتکنیک صاحب صلاحیت در مراحل مختلف مطالعات، طراحی و اجرا زیر نظر مهندس مشاور مادر ضروری است. در این بخش از راهنما سعی شده است تا جایگاه طراحی و نظارت ژئوتکنیکی در طرح مشخص شده و شرح خدمات مهندسی ژئوتکنیک ارائه شده در مراحل مطالعات مقدماتی، تهیه طرح اجرائی (تفصیلی) و مرحله ساخت و نظارت بر اجرا تعیین گردد.

۶-۱- تعاریف

خدمات مهندسی ژئوتکنیک: خدماتی هستند که فهرست اکثر آنها برای مراحل مختلف طراحی و نظارت در مرحله اجرا، در بخش اول تعرفه خدمات ژئوتکنیک و مقاومت مصالح سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور به تفصیل درج شده است.

عملیات مطالعاتی ژئوتکنیک: خدماتی از قبیل حفاریها و انجام آزمایشهای آزمایشگاهی و صحرایی است که به منظور ارزیابی و شناسایی ساختگاه انجام می‌گیرد. فهرست اکثر این خدمات در بخش دوم تعرفه خدمات ژئوتکنیک و مقاومت مصالح سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور به تفصیل درج شده است.

مشاور مادر: مشاور است که مسئولیت هماهنگی و نظارت بین کلیه مشاوران شاغل در پروژه در رشته‌های مختلف را بعهده دارد.

گروه کارشناسی ژئوتکنیک طرح زیر نظر مشاور مادر: حضور گروه کارشناسی ژئوتکنیک در مراحل مختلف مطالعاتی، طراحی و اجرایی زیر نظر مشاور مادر از ضروریات است. در صورتیکه مشاور مادر گروه کارشناسی ژئوتکنیک متناسب با نیازهای پروژه نداشته باشد، باید از خدمات یک شرکت مشاور ژئوتکنیک استفاده کند.

مهندس مشاور ژئوتکنیک: مهندس مشاور دارای صلاحیت از سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی یا دفتر مدیریت پروژه وزارت نفت می‌باشد که عملیات مطالعاتی و طراحی ژئوتکنیکی را انجام می‌دهد.

۶-۲- فعالیتهای مطالعاتی و اجرایی ژئوتکنیک

عبارت است از انجام حفاری‌های شناسایی، بررسی‌های محلی، مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی، تفسیر و طراحی ژئوتکنیکی، بهسازی، تزریق، سپرکوبی، شمع‌کوبی، آماده‌سازی بستر و ... که طبق شرح خدمات توسط مشاور ژئوتکنیک صورت می‌پذیرد.

۶-۳- نظارت بر عملیات ژئوتکنیکی

گروه کارشناسی ژئوتکنیک طرح زیر نظر مهندس مشاور مادر وظیفه نظارت بر کلیه عملیات ژئوتکنیکی را به شرح زیر به عهده خواهد داشت:

- ♦ همکاری در تدوین شرح خدمات مطالعات ژئوتکنیک
- ♦ همکاری با کارفرما برای انتخاب مشاور مطالعات ژئوتکنیک
- ♦ کنترل مهارتها، تجهیزات آزمایشهای صحرایی و آزمایشگاهی و ارزیابی تطبیق عملکرد تجهیزات با استاندارد
- ♦ نظارت بر عملیات صحرایی
- ♦ نظارت بر آزمایشهای آزمایشگاهی
- ♦ کنترل کیفیت عملیات اجرایی ژئوتکنیکی
- ♦ بررسی همخوانی شرایط واقعی با فرضیات طراحی و مشخصات مورد نظر
- ♦ بررسی لزوم تغییر فرضیات طراحی، برای طراحی مجدد و توصیه انجام آن در صورت لزوم
- ♦ بررسی همخوانی برنامه کنترل کیفیت عملیات اجرایی ژئوتکنیکی با شرایط غیر متعارف در محل
- ♦ بررسی همخوانی برنامه نصب ابزار دقیق با شرایط واقعی زمین و توصیه تغییر آن در صورت لزوم
- ♦ بررسی و تأیید گزارش نهایی
- ♦ بررسی و تأیید صورت وضعیت عملیات اجرایی ژئوتکنیکی

پیوست "الف"

ارائه خلاصه‌ای از مطالعات و طراحی‌های قبلی در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس

الف - ۱ - مقدمه

در این پیوست خلاصه‌ای از مطالعات و طراحی‌های قبلی در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس ارائه می‌شود. این مطالب صرفاً جنبه راهنما داشته و نافی انجام مطالعات و بررسی‌های ژئوتکنیکی متعارف در پروژه‌های آتی نخواهد بود.

الف - ۲ - موقعیت و اطلاعات اقلیمی

منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس در حاشیه شمالی خلیج فارس و در 300 کیلومتری شرق بندر بوشهر و 570 کیلومتری غرب بندر عباس واقع است و حدود 100 کیلومتر با حوزه گازی پارس جنوبی فاصله دارد.

اطلاعات اقلیمی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس به قرار زیر است:

- ♦ عرض جغرافیایی 27 درجه و طول جغرافیایی 52 درجه
- ♦ حرارت هوا بین 5 تا 50 درجه سانتی‌گراد
- ♦ رطوبت نسبی بین 59 تا 88 درصد
- ♦ متوسط بارندگی سالیانه حدود 180 میلیمتر
- ♦ شیب متوسط زمین از 0/1% (در سواحل) تا 8% (در دامنه‌ها)
- ♦ عمق آبهای زیرزمینی از 1- تا 10- متر
- ♦ باد غالب از شمال غربی به جنوب شرقی

الف - ۳ - زمین‌شناسی

منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس در ناحیه باریکی از کوهپایه‌های سواحل شمالی خلیج فارس قرار گرفته است. مساحت تقریبی این ناحیه بالغ بر 14 هزار هکتار بوده که بخش اعظم آن از رسوبات آبرفتی پوشیده شده و باقیماند آن از رخنمونهای سنگی تشکیل شده است.

فاصله اندک منشأ رسوبات تا محل رسوبگذاری، ریزش‌های جوی شدید و فراوانی عوامل سیمانته کننده از قبیل آهک و انیدریت انحلالی، از جمله عواملی هستند که مستقیماً بر جنس، دانه‌بندی، ضخامت لایه‌ها، توپوگرافی، میزان تراکم و چسبندگی این رسوبات تأثیر گذاشته‌اند. به دلیل فاصله کوتاه منشأ این رسوبات تا محل رسوبگذاری، این رسوبات از گردش‌دهی اندکی برخوردار می‌باشند. علی‌رغم جوان بودن آبرفت‌های درشت‌دانه منطقه، این رسوبات از استحکام نسبتاً زیادی برخوردار هستند. به نظر می‌رسد مهمترین عامل این موضوع فراوانی سنگ‌های قابل انحلال در منطقه است. انحلال این سنگ‌ها در اثر نزولات جوی، سبب سیمانته شدن رسوبات آبرفتی و در نتیجه افزایش مقاومت این رسوبات شده است.

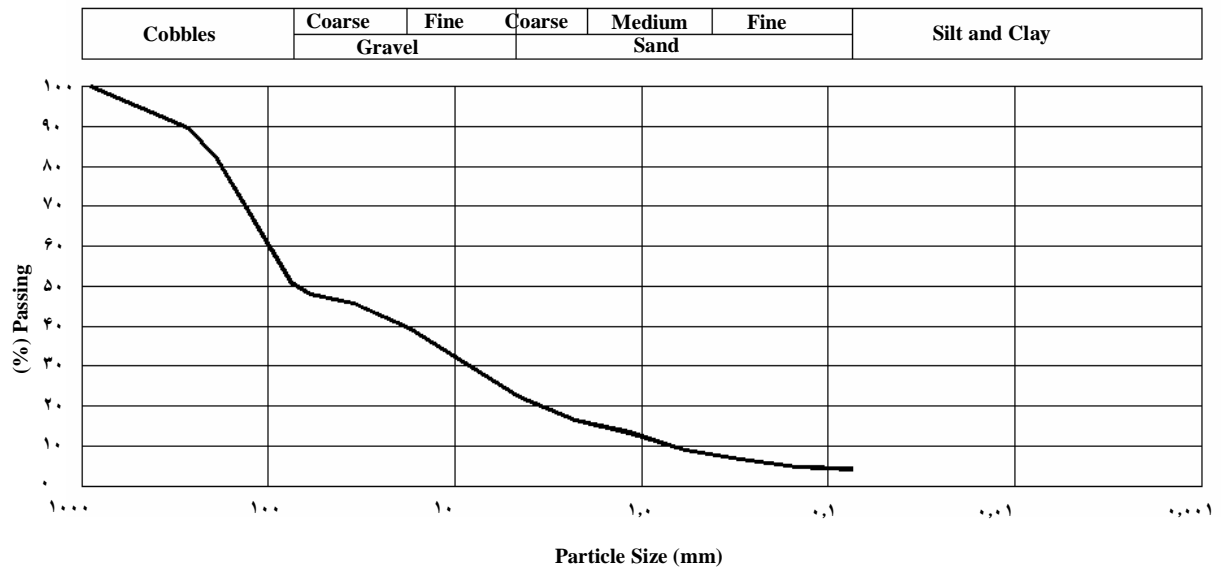
اجزاء تشکیل دهنده این رسوبات غالباً درشت‌دانه بوده که همراه با رس و لای (سیلت) می‌باشند. این رسوبات از چسبندگی قابل ملاحظه‌ای برخوردار بوده و ترانشه‌های عمودی ایجاد شده تا ارتفاع نسبتاً زیادی تا مدت‌ها حالت پایداری از خود نشان داده‌اند.

رخنمون‌های سنگی عبارتند از ماسه سنگ‌ها و کنگلومراهای مربوط به سازندهای آگاجاری و بختیاری، سنگهای مارنی و سیلتی سازندهای میشان و چمپه و همچنین آهک‌های توده‌ای و یا خردشده سازندهای آسماری، سروک و گورپی؛ این رخنمونها غالباً در بخش‌های میانی منطقه پتروشیمی به صورت تپه‌های کم ارتفاع و به ندرت صخره‌ای مشاهده می‌شوند.

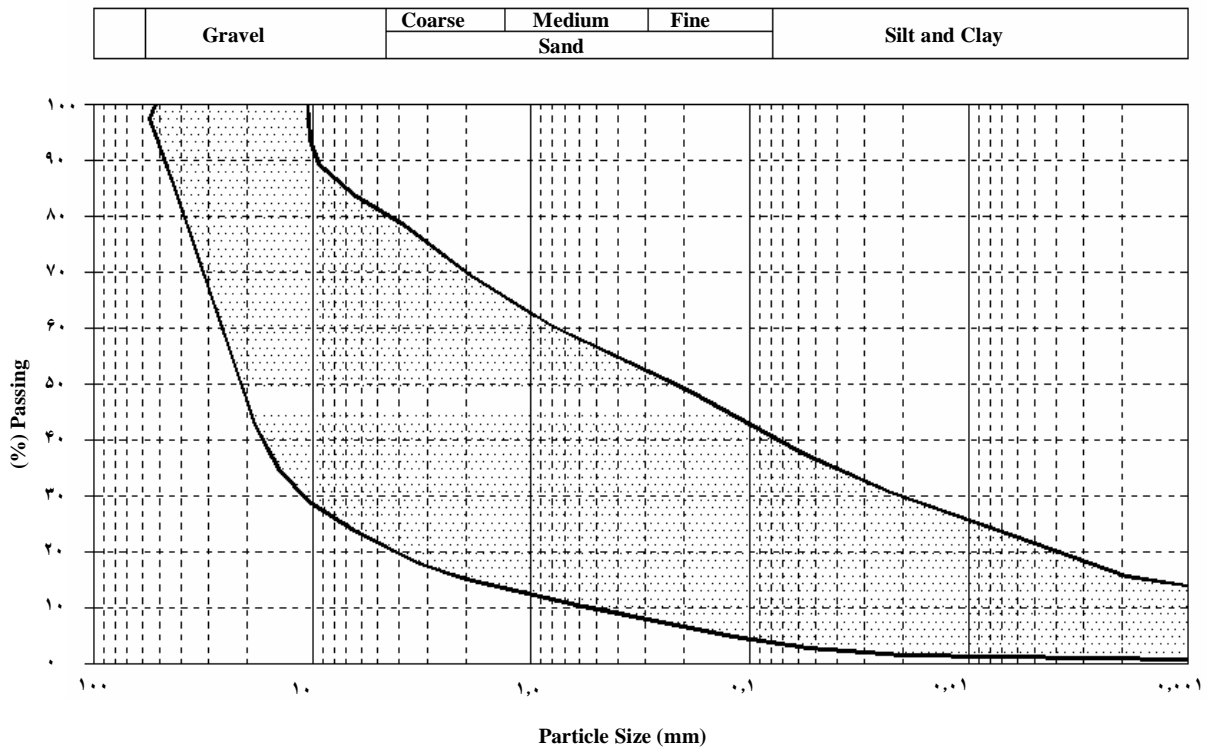
الف-۴- مشخصات ژئوتکنیکی خاک‌های منطقه

نمونه‌ای از منحنی دانه‌بندی صحرایی در شکل (الف-1) نشان داده شده است. همچنین شکل (الف-2) در برگیرنده نمونه‌ای از پوش منحنی دانه‌بندی آزمایشگاهی خاک منطقه است. دانه‌بندی صحرایی بر روی نمونه‌ای به وزن چندین تن در محل سایت صورت پذیرفته و دانه‌بندی آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های اخذ شده در محل آزمایشگاه انجام شده است. جنس خاک زیرسطحی عمدتاً از نوع شن ماسه‌دار همراه با مقادیری لای (سیلت) و قلوه‌سنگ ارزیابی شده است.

عدد SPT این مصالح با استفاده از نوک مخروطی شکل، عمدتاً بیشتر از 50 می‌باشد. تنها در مناطقی از ساحل تا عمق 2 متری از 50 کمتر بوده و بین 20 تا 40 تغییر می‌نماید. با توجه به اعداد SPT می‌توان تخمین زد که زاویه اصطکاک داخلی بین 38° تا بیش از 40° تغییر نماید. وزن مخصوص خشک نمونه‌های اخذ شده در حدود 1/95 تا 2/15 گرم بر سانتیمتر مکعب متغیر است.

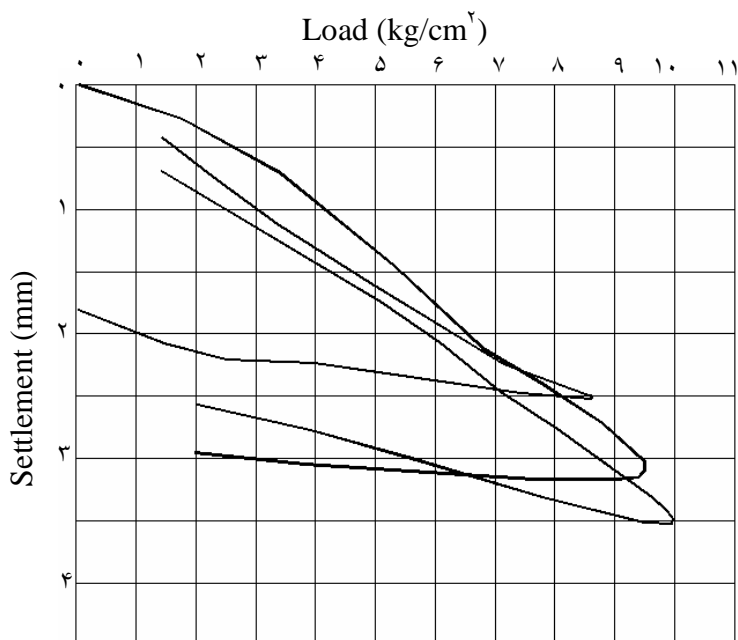


شکل (الف-1): نمونه‌ای از منحنی دانه‌بندی صحرایی خاک منطقه



شکل (الف-2): نمونه‌ای از پوش دانه‌بندی آزمایشگاهی خاک منطقه

آزمایش‌های بارگذاری صفحه‌ای انجام شده (شکل الف-3) نیز مؤید میزان باربری بالای خاک می‌باشد. برای تعیین زاویه اصطکاک داخلی خاک، از نتایج آزمایش بر روی نمونه‌های دست خورده، توسط دستگاه برش مستقیم استفاده شده است. با توجه به قطر و ضخامت اندک نمونه‌های مورد استفاده، آزمایش‌ها عمدتاً بر روی قسمت‌های ریزدانه‌تر خاک انجام شده و چسبندگی خاک به علت نمونه‌گیری دست‌خورده عملاً از بین رفته است. در اکثر گزارش‌های موجود زاویه اصطکاک داخلی خاک بصورت محافظه‌کارانه عمدتاً بین 32° تا 33° ارائه شده و از چسبندگی نیز صرف‌نظر شده است.



شکل (الف-3): نمونه‌ای از نتایج آزمایش‌های بارگذاری صفحه در منطقه

الف-۵- عملیات خاکی

با توجه به توپوگرافی منطقه، عملیات حجیمی برای تسطیح و آماده‌سازی بستر منطقه انجام گرفته است. بطورکلی بیش از 90 درصد از بخش تسطیح شده در خاکبرداری و بقیه در خاکریزی قرار گرفته و عملیات خاکریزی عمدتاً در دره‌های کم عمق و آبراهه‌های متعدد منطقه صورت گرفته است. در این مناطق اکثراً خاکریزیها بصورت توده‌ای و توسط بلدوزر انجام گرفته و متراکم شده‌اند. اجرای سازه‌های مهندسی در نواحی خاکریزی شده به شکل فوق، باید پس از انجام آزمایش‌های لازم و حصول اطمینان از کیفیت تراکم خاک‌های واقع در عمق تاثیر این سازه‌ها صورت پذیرد.

الف-۶- استحصال زمین از دریا

با توجه به کمبود فضای مناسب برای احداث پروژه‌های پتروشیمی از یک طرف و حجم عظیم خاکبرداری در منطقه از طرف دیگر، عملیات استحصال زمین از دریا مورد توجه قرار گرفته است. در این عملیات حدود 110

هکتار در فاز اول و حدود 240 هکتار در فاز دوم از دریا استحصال می‌گردد. عملیات استحصال توسط ساخت جتی‌های سنگی، جهت جلوگیری از شستشوی خاک توسط موج و سپس خاکریزی بوسیله کامیون و یا بلدوزر انجام می‌گیرد. خاکریزی‌ها، معمولاً در یک مرحله و از ارتفاع صفر تا حدود 19 متر انجام می‌شود. پس از این مرحله، 2 متر فوقانی خاکریزی به صورت لایه‌ای در محل ریخته شده و متراکم می‌گردند.

الف-۷- روش‌های پی‌سازی و اصلاح خاک

با توجه به مقاومت خاک منطقه در زمین‌های طبیعی عمدتاً از پی سطحی برای انتقال بار سازه‌ها به زمین استفاده می‌شود. مقاومت مجاز ارائه شده اکثراً به 2 kg/cm^2 محدود شده که بنظر می‌رسد مقاومت مجاز را می‌توان افزایش داد. مناطق استحصالی عمدتاً بوسیله روش تراکم دینامیکی اصلاح می‌گردند. در این مناطق برای انتقال بار سازه‌ها به زمین از پی‌های سطحی استفاده می‌شود. هرچند که تعداد اندکی از سازه‌های احداث شده در این مناطق بر روی پی‌های عمیق (شمع) استقرار می‌یابند و علاوه بر آن در ناحیه مجاور بندرگاه عمدتاً از پی‌های عمیق جهت انتقال بار سازه‌ها به لایه‌های مقاوم زمین طبیعی استفاده می‌شود. به علت وجود موانعی از جمله لوله‌های انتقال گاز، در قسمت‌هایی از مناطق استحصال شده، امکان استفاده از روش تراکم دینامیکی وجود ندارد. در این مناطق بسته به نظر مشاور و کارفرما، از هر دو روش پی‌های سطحی و عمقی برای انتقال بار سازه‌ها استفاده می‌شود.

پی‌های عمیق عمدتاً با استفاده از شمع‌های فولادی نوک باز و چکش ویبره در زمین اجرا می‌شوند. استفاده از تیرآهن‌های بال پهن نیز توسط تعدادی از مشاورین پیشنهاد شده است. لوله‌های فولادی بکار رفته عمدتاً به قطر 30 اینچ و ضخامت حدود 2 سانتیمتر بوده و عمق استقرار آنها بین 24 تا 30 متر متغیر می‌باشد.

الف-۸- مسائل و مشکلات محتمل

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که مسائل و مشکلات پی‌سازی در منطقه از موارد زیر ناشی می‌شود:

- ◆ ارائه زاویه اصطکاک داخلی دست‌پایین و ظرفیت باربری مجاز محافظه‌کارانه و در نتیجه افزایش ابعاد پی‌ها در لایه‌های طبیعی.
- ◆ اجرای خاکریزهای غیرمهندسی در آبراهه‌ها و دره‌ها که ممکن است منجر به ایجاد نشستهای غیر متعارف در پی‌ها، علی‌الخصوص در زمان بارندگی، شود.
- ◆ تراکم دینامیکی در زمین‌های استحصالی: در مناطق استحصالی، به نظر می‌رسد که نگرانی‌هایی در مورد کفایت عملیات تراکم دینامیکی در بهسازی و اثر آن بویژه در عمق وجود دارد. با توجه به اینکه ممکن است تراکم لایه‌های واقع در زیر سطح آب به مقادیر مناسب نرسیده باشد، پتانسیل وقوع روانگرایی و نشست در این قسمت‌ها باید مورد توجه قرار گیرد. لذا پیشنهاد می‌گردد در احداث سازه‌های مهم در این مناطق تمهیدات خاص همراه با انجام آزمایشهای ژئوتکنیکی مناسب مد نظر قرار گیرد.
- ◆ در مناطقی که عملیات تراکم دینامیکی بر روی زمین‌های استحصال شده به هر دلیلی انجام نشده باشد، اجرای هرگونه سازه‌ای نیازمند تمهیدات خاص است.

الف-۹- لرزه‌خیزی

منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس در جنوب ایران، در استان بوشهر و در شمال خلیج فارس واقع شده است. این ناحیه از نظر تکتونیکی در صفحه عربستان قرار دارد. کمربند زاگرس و صفحه ایران مرکزی از نواحی تکتونیکی هستند که از نظر لرزه‌خیزی ناحیه مورد نظر موثر می‌باشند. این منطقه در جنوبی‌ترین حد نوار چین خورده جنبای زاگرس که دارای فعالیت بالای لرزه‌خیزی است واقع شده است. دو پهنه گسلی معروف به پیشانی کوهستان و پهنه فارس- لارستان (سورمه- لار) از مهمترین پهنه‌های گسلی در گستره مورد نظر است. گسل عسلویه از جنباترین تکه‌های گسلی پیشانی کوهستان است. وقوع زمین لرزه‌های تاریخی و اخیر در این ناحیه نشانگر جنبایی این ساختار بوده و آن را به عنوان مهمترین سرچشمه لرزه‌ای معرفی می‌کند.

بر اساس پهنه‌بندی ارائه شده در آیین‌نامه 2800 زلزله ایران (ویرایش سوم، 1384) که توسط مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن تهیه شده است، منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس در پهنه با خطر نسبی زیاد قرار داشته و مقدار شتاب مبنای زمین برابر با 0/30 شتاب ثقل زمین پیشنهاد شده است.

الف-۱۰- فهرست گزارش‌های مطالعات ژئوتکنیکی انجام شده در منطقه

فهرست تعدادی از گزارش‌های مطالعات ژئوتکنیکی انجام شده در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس جهت اطلاع در این بخش از راهنما ارائه شده است.

جدول (الف-1): فهرست گزارش‌های ژئوتکنیک (فارسی)

شماره	تاریخ	تهیه کننده	شرح
1	1380	پژوهشگاه بین‌المللی زلزله- شناسی و مهندسی زلزله	مطالعات پهنه‌بندی خطرات لرزه‌ای و ژئوتکنیک لرزه‌ای منطقه عسلویه (محدوده 910 هکتاری)- مطالعات زمین‌ساخت و لرزه زمین‌ساخت
2	1380	پژوهشگاه بین‌المللی زلزله- شناسی و مهندسی زلزله	مطالعات پهنه‌بندی خطرات لرزه‌ای و ژئوتکنیک لرزه‌ای منطقه عسلویه (محدوده 910 هکتاری)- مطالعات زمین‌شناسی محلی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش
3	1380	پژوهشگاه بین‌المللی زلزله- شناسی و مهندسی زلزله	مطالعات پهنه‌بندی خطرات لرزه‌ای و ژئوتکنیک لرزه‌ای منطقه عسلویه (محدوده 910 هکتاری)
4	1381	مهندسین مشاور سازه- پردازی ایران	گزارش مطالعات ژئوتکنیک جهت ارزیابی عملیات تراکم دینامیکی در بخش سوم اراضی پتروشیمی پارس- پروژه تراکم دینامیکی اراضی استحصال شده از دریا در مجتمع پتروشیمی منطقه ویژه انرژی پارس (عسلویه)
5	1381	مهندسین مشاور سازه- پردازی ایران	گزارش مطالعات ژئوتکنیک جهت ارزیابی عملیات تراکم دینامیکی در بخش اول اراضی پتروشیمی پارس- پروژه تراکم دینامیکی اراضی استحصال شده از دریا در مجتمع پتروشیمی منطقه ویژه انرژی پارس (عسلویه)

ادامه جدول (الف-1): فهرست گزارش‌های ژئوتکنیک (فارسی)

شماره	تاریخ	تهیه کننده	شرح
6	1381	مهندسين مشاور سازه- پردازی ایران	گزارش مطالعات ژئوتکنیک جهت ارزیابی عملیات تراکم دینامیکی در محدوده بخش‌های چهارم اراضی پتروشیمی پارس - پروژه تراکم دینامیکی اراضی استحصال شده از دریا در مجتمع پتروشیمی منطقه ویژه انرژی پارس (عسلویه)
7	1381	مهندسين مشاور سازه- پردازی ایران	گزارش مطالعات ژئوتکنیک جهت ارزیابی عملیات تراکم دینامیکی در محدوده اولویت 3/2 اراضی پتروشیمی جم - پروژه تراکم دینامیکی اراضی استحصال شده از دریا در مجتمع پتروشیمی منطقه ویژه انرژی پارس (عسلویه)
8	1381	مهندسين مشاور سازه- پردازی ایران	گزارش مطالعات ژئوتکنیک جهت ارزیابی عملیات تراکم دینامیکی در محدوده اولویت 3/1 اراضی پتروشیمی جم - پروژه تراکم دینامیکی اراضی استحصال شده از دریا در مجتمع پتروشیمی منطقه ویژه انرژی پارس (عسلویه)
9	1381	مهندسين مشاور سازه- پردازی ایران	گزارش مطالعات ژئوتکنیک جهت ارزیابی عملیات تراکم دینامیکی در محدوده اولویت 2/1 اراضی پتروشیمی جم - پروژه تراکم دینامیکی اراضی استحصال شده از دریا در مجتمع پتروشیمی منطقه ویژه انرژی پارس (عسلویه)
10	1382	مهندسين مشاور سازه- پردازی ایران	گزارش نتایج عملیات تراکم دینامیکی در منطقه اول اراضی پتروشیمی مبین (محدوده Cold Box) - پروژه تراکم دینامیکی اراضی استحصال شده از دریا در مجتمع پتروشیمی منطقه ویژه انرژی پارس (عسلویه)
11	1382	مهندسين مشاور سازه- پردازی ایران	گزارش مطالعات ژئوتکنیک جهت ارزیابی عملیات تراکم دینامیکی در محدوده Intake در بخش دوم از اراضی پتروشیمی مبین - پروژه تراکم دینامیکی اراضی استحصال شده از دریا در مجتمع پتروشیمی منطقه ویژه انرژی مبین (عسلویه)

ادامه جدول (الف-1): فهرست گزارش‌های ژئوتکنیک (انگلیسی)

شماره	تاریخ	تهیه کننده	شرح
1	1997	IRAN KHAK CONSULTING ENG.	Geotechnical Investigation of Onshore Area- South Pars Gas Field Development
2	1998	MANDRO CONSULTING ENG.	Final Report for Onshore Geotechnical Survey for Construction of Gas Treatment Plant
3	2001	PEY-KAV CONSULTING ENG.	Onshore Soil Investigation- South Pars Phases 4 and 5
4	2001	SNAMPROGETTI	Geophysical and Geotechnical Report- South Pars Gas Field (Phases 4 & 5)
5	2001	SAHEL CONSULTANT ENG.	Geotechnical Investigation for Reclamation in Assaluyeh
6	2002	FUGRO MIDDLE EAST B.V.	Marine Geotechnical Investigation- Pars Port Development- Assaluyeh- Islamic Republic of Iran
7	2003	SAZEH PARDAZI IRAN CONSULTING ENG. CO.	The Report on Geotechnical Studies for Evaluation of Dynamic Compaction in the "Intake" Area of Second Part of Mobin Petrochemical Land- Dynamic Compaction Project of Reclaimed Lands in Assaluyeh Petrochemical Complex
8	2003	SAZEH PARDAZI IRAN CONSULTING ENG. CO.	The Report on Geotechnical Studies for Evaluation of Dynamic Compaction in Part 2 of Pars Petrochemical Land- Dynamic Compaction Project of Reclaimed Lands in Assaluyeh Petrochemical Complex
9	2003	ZAMIRAN	Geotechnical, Soils & Foundation Investigations- Proposed Desalination Facilities of Mobin Petrochemical Complex in Assaluyeh for Sahand Petrokar Company
10	2003	ZAMIRAN	Soils & Foundation Investigation- Offsite Facilities of Mobin Petrochemical Complex in Assaluyeh for Azaan Consortium
11	2003	ZAMIRAN	Pile Integrity Test Results- Proposed TK703 Storage Tank in Assaluyeh for Aria Sasol Polymer Company
12	2003	ZAMIRAN	Soils and Foundation Investigation- Proposed Ethylene Storage Tanks in the 9th Olefin Complex in Assaluyeh for Pars Petrochemical Company
13	2004	ZAMIRAN	Pile Integrity Test Results Proposed TK701 Storage Tank in Assaluyeh for Aria Sasol Polymer Company
14	2004	ZAMIRAN	Geotechnical, Soils & Foundation Investigations- Proposed South Pars Gas Field Development (Phases 9 & 10) Project in Assaluyeh
15	2004	PEY ANDISHAN SAZEH CONSULTING ENG.	Geotechnical, Soil and Foundation Investigations of Wastewater Treatment Plant of Mobin Petrochemical Complex in Assaluyeh for Sazmand Engineering and Construction Company

پیوست "ب" فرمت و نحوه تدوین گزارش

در تدوین گزارش مطالعات ژئوتکنیکی رعایت موارد زیر الزامی است.

ب-۱- روی جلد

در روی جلد باید نام کارفرما، نام پروژه، عنوان گزارش، نام مشاور ژئوتکنیک تهیه کننده گزارش، شماره مرجع گزارش، تاریخ ارائه گزارش و در صورتی که بعلت حجم زیاد، گزارش در دو یا چند جلد ارائه شده باشد، شماره مجلد و تعداد مجلدها نوشته شود.

ب-۲- صفحه اول

صفحه اول و یا به عبارتی صفحه حقوقی بصورت زیر ارائه می شود:
در بالای صفحه، به ترتیب نام کارفرما، نام پروژه، عنوان گزارش و نام مشاور ژئوتکنیک نوشته می شود.
در وسط، دو جدول به شرح زیر درج می شود.

الف - جدول شماره 1

شکل عمومی و موضوعات مندرج در این جدول به شرح زیر خواهد بود. تعداد ردیفهای این جدول برابر با تعداد کل ویرایشهای قبلی گزارش به اضافه ویرایش حاضر بوده و همه ردیفهای جدول باید تکمیل گردد.

شماره ویرایش	تاریخ ارائه	موضوع ویرایش ⁽¹⁾	شماره نامه ارسالی	تاریخ نامه ارسالی	تعداد کل صفحهها ⁽²⁾
1					
2					
3					
...					

⁽¹⁾ موضوع ویرایش می تواند بر حسب مورد "تدوین اولیه"، "تجدید نظر اول"، "تجدید نظر دوم" و ... باشد.

⁽²⁾ تعداد کل صفحهها شامل صفحات گزارش اصلی و گزارشهای پیوست خواهد بود.

ب - جدول شماره ۲

این جدول حاوی امضای تهیه‌کننده، کنترل‌کننده و تصویب‌کننده نهایی گزارش می‌باشد. نام و نام خانوادگی امضاکنندگان باید بطور کامل درج شود. کلیه نسخه‌های گزارش که در اختیار کارفرما و سایر مراجع رسمی قرار داده می‌شوند باید با امضای اصلی تهیه شوند. شکل جدول 2 به قرار زیر خواهد بود.

نام و نام خانوادگی	سمت	تاریخ	امضاء
تهیه‌کننده			
کنترل‌کننده			
تصویب‌کننده			

در زیر صفحه حقوقی، نام کامل مراکز و اداراتی که نسخه‌های گزارش حاضر بر اساس قرارداد یا مقررات و دستورالعمل‌ها در اختیار آنها قرار داده می‌شود، به اضافه تعداد نسخه‌های مربوط به هر کدام ذکر می‌گردد.

آدرس کامل مشاور ژئوتکنیک نیز باید در این صفحه درج گردد. شروع شماره‌گذاری صفحات گزارش از این صفحه خواهد بود.

ب-۳- فهرست مطالب

شماره‌گذاری صفحات گزارش اصلی (یک یا چند مجلد) و پیوست‌های آن (همراه با گزارش اصلی و یا بصورت مجله‌های جداگانه) باید بصورت مسلسل درج گردد. در همه مجله‌ها تنها صفحه روی جلد فاقد شماره خواهد بود. بدین ترتیب، گزارش اصلی و پیوست‌های آن دارای یک شماره‌بندی پیوسته خواهند بود. هیچ صفحه‌ای (بجز صفحه روی جلد) نباید فاقد شماره صفحه باشد. شماره‌گذاری صفحات شامل نقشه‌ها نیز خواهد بود.

فهرست مطالب از صفحه دوم گزارش اصلی شروع می‌شود و تمام مطالب گزارش و پیوست‌ها را در بر می‌گیرد. در این فهرست باید شماره صفحات مربوط به همه عناوین درج گردد. در مورد آخرین عنوان، شماره صفحه ابتدا و صفحه انتها بصورت (x و y) نوشته خواهد شد.

ب-۴- فهرست جداول گزارش اصلی

در این فهرست شماره و عنوان جداول مندرج در گزارش اصلی همراه با شماره صفحات مربوط به هر کدام درج می‌شود.

ب-۵- فهرست شکل‌های گزارش اصلی

در این فهرست، شماره و عنوان شکل‌های مندرج در گزارش اصلی همراه با شماره صفحات آنها آورده می‌شود.

ب-۶- فهرست جداول و شکل‌های مندرج در پیوست (ها)

در ابتدای هر پیوست، فهرست عناوین جداول و شکل‌های مندرج در آن، همراه با شماره صفحات مربوطه آورده می‌شود. در صورتیکه پیوست مشتمل بر شکلهای و جداول مشابه باشد، می‌توان جهت سهولت، عنوان و شماره آنها را به صورت گروهی ارائه داد.

ب-۷- فهرست علائم و نشانه‌ها

در صورتیکه تهیه‌کننده گزارش لازم بداند، فهرستی از علائم و نشانه‌های لاتین و یونانی، جداگانه و به ترتیب حروف الفبا، برای گزارش اصلی تهیه شده و پس از فهرست شکلهای ارائه می‌شود.

ب-۸- مقدمه گزارش

مقدمه گزارش، که تحت عنوان اصلی "مقدمه" و یا "کلیات" و با (یا بدون) عناوین فرعی دیگر ارائه می‌شود، باید شامل موارد زیر باشد:

- ◆ موضوع
- ◆ اهداف اصلی و فرعی
- ◆ دامنه و حدود کاربرد
- ◆ شماره و تاریخ قرارداد، تاریخ تحویل زمین، تاریخ شروع و پایان عملیات صحرائی، تاریخ شروع و پایان آزمایشهای آزمایشگاهی و بالآخره عملیات باقی‌مانده که در دست انجام هستند و نتایج آنها موضوع گزارشهای بعدی خواهد بود.
- ◆ تاریخچه مختصر محل
- در این بخش خلاصه‌ای از تاریخچه فنی محل و سازه‌های ساخته شده و مطالعات ژئوتکنیک قبلی و یا در دست انجام ارائه می‌شود.
- ◆ ویژگی‌های طراحی سازه‌ها
- در این بخش ویژگیهای اصلی و مهم سازه یا سازه‌های پروژه از لحاظ مقتضیات طراحی ژئوتکنیکی سیستم پی و سایر سازه‌های ژئوتکنیکی آنها شرح داده می‌شود. از جمله این ویژگی‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

الف- اهمیت سازه

این اهمیت از دیدگاه تاثیر و عواقب اقتصادی و خطرات جانی ناشی از خرابی (Failure) احتمالی سیستم پی و نیز نشستها و حرکات افقی غیرمجاز زمین تعریف می‌شود.

ب- عمر مفید پیش‌بینی شده برای سازه.

ج- نوع سازه (مصالح تشکیل‌دهنده، سیستم سازه‌ای،...)

د- ویژگی‌های بارهای مداوم و متغیر وارد بر پی.

ه- محدودیتها و رواداری‌های مربوط به نشستهای مطلق و نسبی پی‌ها، حرکات افقی زمین، لرزش پی‌ها و زمین اطراف.

ز- خصوصیات پیرامونی مانند تغییرات عمق آب زیرزمینی، تغییرات دمای زمین پی بر اثر تغییرات دمای محیط، احتمال نفوذ مواد شیمیایی موثر مانند اسیدها در زمین پی.

ح- تاثیر اجرای سازه‌های در دست طراحی که قرار است در آینده در نزدیکی سازه مورد مطالعه ساخته شوند.

♦ مرجع تعیین ویژگیهای طراحی سازه

در این بخش نام مرجع یا مراجع تعیین‌کننده معیارها و عوامل اصلی طراحی سازه از جمله بارهای وارد بر سازه، محدودیت‌های مربوط به نشستها و حرکات افقی زمین، اهمیت سازه، دمای حاکم بر محیط سازه آورده شده و در صورت لزوم تاریخ و شماره نامه‌ها و صورت جلسه‌هایی که کمیته‌های تعیین‌کننده طراحی را مشخص کرده‌اند، ذکر می‌گردد.

♦ روش‌ها و ابزار گمانه‌زنی و نمونه‌گیری و اجرای آزمونهای برجا

در مورد آزمونهای برجا نام و شماره استاندارد آزمون ذکر می‌شود.

♦ تغییرات مهم در برنامه مطالعات

در صورتیکه مطالعات انجام شده تغییرات قابل ملاحظه‌ای نسبت به مطالعات پیش‌بینی شده داشته باشند، رئوس تغییرات و علت اصلی آنها ذکر می‌شود.

ب-۹- مشخصات عملیات خاکی انجام شده در محل

در صورتیکه زمین مورد مطالعه، زمین طبیعی نبوده و در اثر عملیات آماده‌سازی، استحصال زمین از دریا و یا سایر عملیات خاکبرداری و خاکریزی تغییر یافته باشد، لازم است که تحت یک بند جداگانه، تاریخچه و مشخصات فنی عملیات انجام شده شامل موارد زیر ارائه شود:

♦ نام کارفرما، مشاور و پیمانکار مسئول عملیات

♦ هدف عملیات انجام شده

♦ تاریخچه زمانی عملیات

- ◆ نام گزارش‌های حاوی سوابق فنی عملیات انجام شده
- ◆ تغییرات بوجود آمده در توپوگرافی اولیه
- ◆ مشخصات فنی عمومی مصالح استفاده شده در خاکریزها
- ◆ حدود و ضخامت لایه‌های خاکریزی
- ◆ مشخصات فنی و عمومی روش تراکم بکاربرده شده
- ◆ روش کنترل تراکم لایه‌های خاکریزی
- ◆ نتایج برداشتها و آزمونهای قبلی مربوطه (در صورت وجود)
- ◆ نشست و سایر مشخصات زمین پس از انجام خاکریزی
- ◆ نظر نویسنده گزارش در مورد کیفیت فنی و مسایل احتمالی

ب-۱۰- مطالعات انجام شده در زمینهای مجاور

در صورتیکه تا فاصله 500 متری از محل مورد بررسی، قبلاً مطالعات ژئوتکنیکی انجام شده باشد، لازم است ضمن ذکر موقعیت مطالعات انجام شده در این محدوده، خلاصه‌ای مشتمل بر نام پروژه، نام مشاور ژئوتکنیک، تاریخ انجام مطالعه، تعداد و حداکثر عمق گمانه‌های حفر شده و نوع و اهمیت سازه‌های مربوطه برای حداقل سه پروژه‌ای که به محل مورد مطالعه نزدیکتر هستند ارائه شود.

ب-۱۱- فهرست مراجع

در پایان گزارش اصلی، فهرست کاملی از کلیه گزارشها، نقشه‌ها، مدارک فنی و مراجع علمی و فنی که در تهیه گزارش از آنها استفاده شده و یا به آنها ارجاع شده است، ارائه می‌شود. در متن گزارش نیز هر جا که نمودارها، جداول، شکل‌ها، نقشه‌ها، فرمولها و کمیتهای موثر از مرجعی نقل می‌شود، لازم است که در همانجا شماره مرجع مربوطه، آورده شود.

ب-۱۲- نحوه شماره گذاری صفحات (اختیاری)

توصیه می‌شود که شماره صفحات در گوشه پائین سمت چپ (در گزارشهای به زبان فارسی) و یا در گوشه پائین سمت راست (در گزارشهای به زبان انگلیسی) و بصورت x/y که در آن x شماره صفحه و y شماره کل صفحات گزارش (مشتمل بر صفحات پیوستها) می‌باشد، نوشته شود. همچنین، توصیه می‌شود که در پائین صفحه، در گوشه سمت راست (گزارش فارسی) یا سمت چپ (گزارش انگلیسی)، شماره گزارش بصورت زیر درج شود:

شماره گزارش:

شماره ویرایش: تاریخ:

پیوست "ج" آشنایی با روشهای بهسازی زمین

ج-۱- مقدمه

در این پیوست به معرفی کلی روشهای معمول بهسازی در زمینهای مختلف طبیعی و یا خاکریزهای مصنوعی پرداخته می‌شود. ارائه جزئیات هر یک از این روشها در قالب این راهنما نمی‌گنجد و صرفاً جهت آشنایی مقدماتی و کلی هر یک از آنها، اطلاعاتی ارائه شده است. بدیهی است که استفاده از هر یک از این روشها در پروژه‌های اجرایی باید با تأیید و نظارت دقیق گروه مهندسی ژئوتکنیک مجرب بوده و طراحی‌های لازم توسط این گروه انجام گیرد.

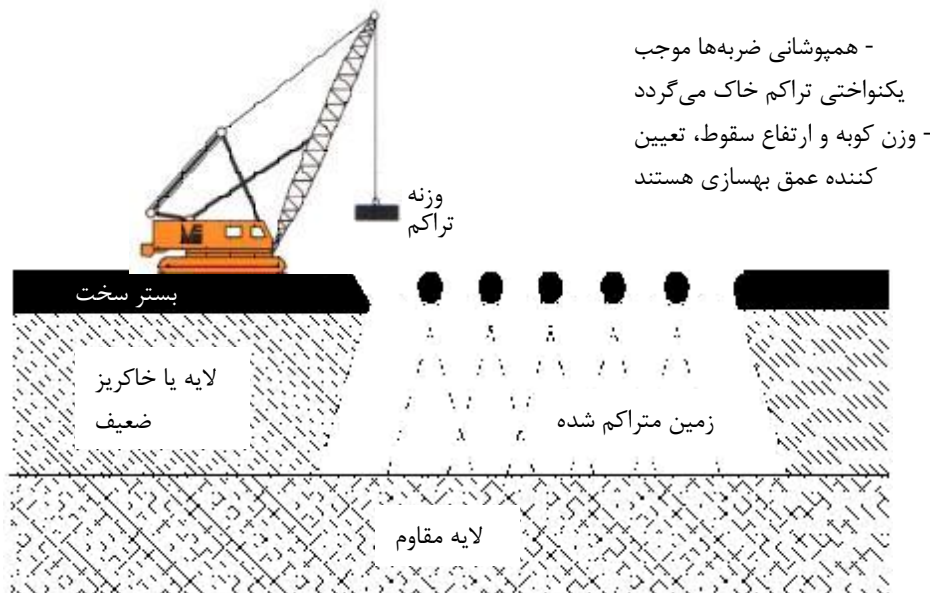
ج-۲- تراکم دینامیکی (Dynamic Compaction)

یکی از روشهای افزایش مقاومت زمینهای ضعیف تراکم دینامیکی است. این روش مبتنی بر سقوط آزاد وزنه‌های سنگین از ارتفاع مشخص می‌باشد، که نتیجه آن تراکم "خاک مورد اصابت" و محدوده‌ای در اطراف آن خواهد بود. عمق نفوذ تراکم، بستگی به سنگینی وزنه، ارتفاع سقوط و شرایط اولیه زمین دارد. شناخت مناسب و کافی از زمین مورد نظر و جزئیات اجرایی روش، نقش بسزایی در میزان موفقیت این روش بهسازی دارد. بشرط وجود شرایط مناسب با استفاده از روش تراکم دینامیکی می‌توان تا اعماق قابل توجهی از زمین را در مقایسه اقتصادی با سایر روشهای مطرح در مهندسی ژئوتکنیک، بهسازی نمود.

ج-۲-۱- تجهیزات

با توجه به پدیده فیزیکی ساده در عملیات تراکم دینامیکی که عبارت است از "بلندکردن و رهاسازی وزنه‌های به شکل و وزن مشخص از ارتفاع معین توسط جرثقیل با ظرفیت مناسب" عملاً تجهیزات اصلی مورد نیاز جرثقیل و وزنه می‌باشد. رعایت ایمنی در زمان عملیات و استفاده بهینه از تراکم دینامیکی ایجاب می‌کند که جرثقیل مناسب و با ظرفیت کافی به کار گرفته شود و همچنین جزئیات بلندکردن و رهاسازی وزنه‌ها در دفعات مکرر، به طور کامل و روشن مشخص شود. شکل (ج-۱) تصویر شماتیک نحوه استفاده از این روش و جزئیات مربوط به آن را نشان می‌دهد. همچنین در شکل (ج-۲) تصویری از عملیات بهسازی نواحی استحصال شده در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس نشان داده شده است. در اکثر عملیات تراکم دینامیکی، سقوط وزنه‌های تا ۲۰ تن از ارتفاع حدود ۲۰ متر انرژی لازم برای تراکم را تامین می‌کند. هرچند، با توجه به پیشرفتهای فنی جرثقیلهای مورد استفاده، در پروژه‌هایی، وزنه‌های بیش از ۵۰ تن از ارتفاع حدود ۳۰ متر نیز به کار گرفته شده‌اند (بعنوان مثال پروژه فرودگاه Nice در فرانسه).

در ساخت وزنه‌ها معمولاً از فولاد سخت، بتن مسلح و جعبه‌های فولادی پر شده با بتن استفاده می‌شود. شکل و ابعاد وزنه‌ها نیز در عملیات تراکم موثر است.



شکل (ج-1): تصویر شماتیک کاربرد روش تراکم دینامیکی

ج-2-2- خاکهای دانه‌ای (Granular Soils)

در خاکهای دانه‌ای خشک نظیر ماسه و شن، انرژی تراکم دینامیکی موجب جابجایی دانه‌های خاک شده و در نتیجه تراکم زمین افزایش می‌یابد. معمولاً در تراکم خاکریزهای درشت‌دانه، تشکیل یک ناحیه سخت سطحی باعث می‌گردد تا بخش کمی از انرژی تراکم به لایه‌های عمیق‌تر منتقل شود؛ البته این امر از نقطه نظر بهبود خواص نشست‌پذیری لایه‌های سطحی مطلوب می‌باشد.

در خاکهای دانه‌ای اشباع و زیر سطح آب زیرزمینی معمولاً بخش قابل توجهی از انرژی تراکم به آب حفره‌ای مابین دانه‌ها منتقل شده و تولید فشار آب حفره‌ای اضافه می‌نماید. در صورت اعمال ضربات متوالی و عدم امکان زهکشی فشار آب حفره‌ای اضافی، احتمال وقوع روانگرایی در چنین شرایطی وجود دارد. با اعمال ضربات با فرکانس پایین می‌توان ضمن جلوگیری از وقوع روانگرایی، تراکم مناسب را در خاک بدست آورد. تجربه پروژه‌های مختلف نشان می‌دهد که زمان تکمیل زهکشی در خاکهای ماسه‌ای و شنی خوب دانه‌بندی شده حدود 1 تا 2 روز و در خاکهای لای ماسه‌دار (Sandy Silt) حدود 1 تا 2 هفته است. بدیهی است که با تکمیل این پروسه دانسیته زمین افزایش می‌یابد. استفاده از تراکم دینامیکی در خاکهایی که جنس دانه‌های آنها ضعیف است، موجب خرد شدن دانه‌ها و کاهش نفوذپذیری و در نتیجه افزایش زمان زهکشی فشار آب حفره‌ای اضافی می‌شود. به طور کلی، استفاده از روش تراکم دینامیکی در خاکهای دانه‌ای خشک نتایج مناسبی در بر دارد، ولی در خاکهای واقع در زیر سطح آب زیرزمینی که مقدار قابل توجهی لای (Silt) دارند، لازم است در استفاده از روش تراکم دینامیکی احتیاط شود.



شکل (ج-2): عملیات تراکم دینامیکی در بخش استحصالی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس

ج-2-3- خاکهای چسبنده (Cohesive Soils)

رفتار خاکهای رسی بهنگام بهسازی آنها با استفاده از روش تراکم دینامیکی بسیار پیچیده‌تر از خاکهای درشت‌دانه است. بنابراین استفاده از این روش در خاکهای ریزدانه و چسبنده نیاز به کنترل بیشتر و عوامل اجرایی با تجربه بالا در این زمینه دارد.

در مورد این نوع خاکها نیز بسته به اینکه خاک در بالا و یا پایین سطح آب زیرزمینی قرار گرفته باشد، شرایط متفاوت خواهد بود. در زمینهای واقع در زیر سطح آب زیرزمینی بخش عمده انرژی تولید شده در اثر سقوط وزنه بصورت یک سربار آبی به آب حفره‌ای منتقل شده و تولید فشار آب حفره‌ای اضافی می‌نماید. زوال این فشار آب حفره‌ای بستگی به خصوصیات تحکیم‌پذیری و طول مسیر زهکشی دارد. با توجه به طبیعت ضربه‌ای روش، شکست‌های برشی و هیدرولیکی باعث پدید آمدن ترک‌هایی در توده خاک شده که باعث تسریع در زهکشی خاک و تکمیل تحکیم آن در اثر ضربات می‌گردد. بنابراین معمولاً سرعت تحکیم در عملیات تراکم دینامیکی بیشتر از سرعت آن در حالت اعمال بارهای استاتیکی مشابه است. برای خاکریزهای مصنوعی رسی در زیر سطح آب، معمولاً فضای خالی در خاک بیشتر بوده (Voided Structure) و لذا میزان تولید فشار آب حفره‌ای اضافی کمتر و زمان لازم برای زهکشی در مقایسه با زمینهای طبیعی کوتاه‌تر می‌باشد. استفاده از ستونهای سنگی (Stone Columns) نیز می‌تواند ضمن افزایش ظرفیت باربری ناحیه مورد نظر باعث تسریع زهکشی فشار آب حفره‌ای اضافی گردد.

در بهسازی خاکهای رسی معمولاً تعداد دفعات عبور (Tamping Passes) مورد نیاز بیشتر از خاکهای دانه‌ای است. بطور خلاصه عملکرد روش تراکم دینامیکی در خاکریزهای رسی خشک (Dry Cohesive Soils) مناسب است. در مورد رسوبات رسی طبیعی و یا خاکریزهای رسی اشباع، استفاده از این روش بهسازی نیاز به احتیاط و کنترل بیشتری دارد. بطور کلی رفتار و پاسخ خاک تعیین‌کننده انتخاب سرعت مناسب عملیات در زمینهای چسبنده است.

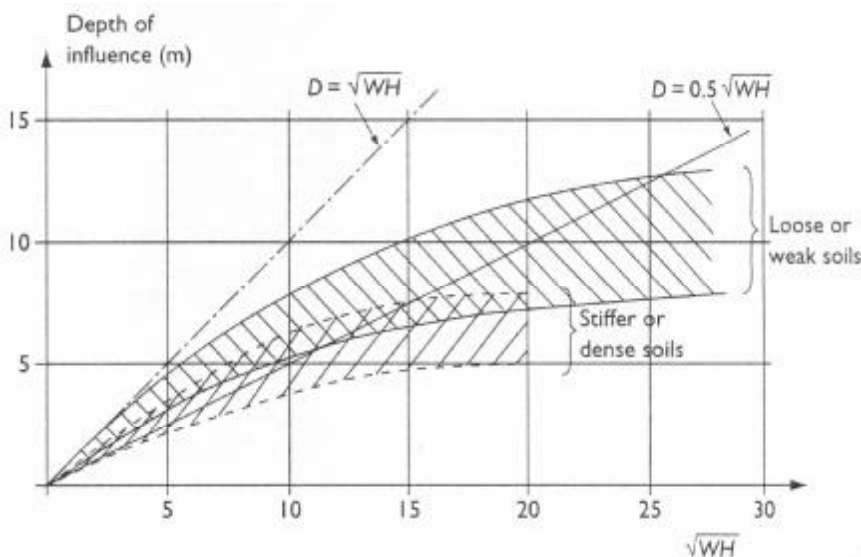
ج-2-4- عمق بهسازی (Improvement Depth)

بر اساس تجربه عملیات مختلف تراکم دینامیکی و تحقیقات انجام شده توسط محققین مختلف (Menard, Mayne, Katti, Mitchel, Leonards, ...) عمق بهسازی به عواملی نظیر مقاومت اولیه زمین، نوع خاک و انرژی تراکم در هر ضربه بستگی دارد. بعبارت دیگر، عمق بهسازی با عبارت $(WH)^{0.5}$ ارتباط دارد. در این رابطه W وزن کوبه بر حسب تن و H ارتفاع سقوط آن بر حسب متر و K یک ضریب تجربی است. Leonards و همکاران (1980) مقدار ضریب K را برای خاکهای نسبتاً درشتدانه و دانه‌ای برابر 0/5 پیشنهاد کرده‌اند. برای همین خاکها Mitchel و Katti (1981) محدوده 0/375 تا 0/7 را ارائه کرده‌اند. شکل (ج-3) تغییرات عمق بهسازی را برحسب $(WH)^{0.5}$ ، براساس تحقیقات مختلف و برای شرایط خاکهای گوناگون، نشان می‌دهد. علاوه بر عوامل فوق‌الذکر، پارامترهای مختلف دیگری نظیر نوع لایه‌های سطحی (در صورتیکه هدف از تراکم دینامیکی بهسازی لایه‌های زیرین باشد)، سطح آب زیرزمینی و تعداد ضربات در هر محل نیز در مقدار عمق بهبود یافته موثر است.

ج-2-5- کنترل کیفیت عملیات

برای کنترل میزان موفقیت عملیات تراکم دینامیکی لازم است تا با انجام آزمایشهایی کیفیت کار ارزیابی گردد. برخی پیمانکاران به اندازه‌گیری عمق گودال ناشی از اولین برخورد کوبه با زمین و ترازبایی محل اکتفا می‌نمایند. لکن انجام آزمایشهای محلی دیگری نیز در اکثر موارد لازم است. در این رابطه باید به این نکته توجه نمود که با توجه به وسعت مناطقی که عملیات تراکم دینامیکی در آنها اجرا می‌شود و بالا بودن سرعت عملیات، معمولاً از اخذ نمونه‌های معرف برای انجام آزمایشهای آزمایشگاهی اجتناب می‌شود و اطلاعات مورد نظر با استفاده از آزمایشهای صحرائی بدست می‌آیند.

در این رابطه بسته به جنس زمین و امکانات موجود، انجام آزمایشهای صحرائی نظیر آزمایش نفوذ استاندارد (Standard Penetration Test)، پرسیومتر (Pressuremeter)، آزمایش دیلاتومتری (Dilatometer)، آزمایش بارگذاری صفحه (Plate Load Test) و آزمایشهای اندازه‌گیری سرعت امواج تنشی (Stress Waves) را می‌توان پیشنهاد نمود.



شکل (ج-3): تغییرات عمق بهسازی بر حسب وزن کوبه تراکم و ارتفاع سقوط

ج-۳- پیش بارگذاری (Preloading)

بهسازی خاکهای ریزدانه با پیش بارگذاری قبل از احداث سازه یکی از روشهای قدیمی است که امروزه نیز بسیار متداول می باشد. با این روش مقاومت برشی لایه های خاک در اثر فشرده شدن افزایش می یابد. این روش در مورد خاکهای چسبنده، که کاهش حجم قابل توجهی در برابر افزایش بار وارده استاتیکی از خود بروز می دهند، باعث می شود که مقاومت برشی خاک افزایش و در اثر متراکم شدن نشست پذیری آن کاهش یابد. این روش در مورد لایه های مواد زاید انباشته شده نیز به کار می رود. بنابراین نشست هایی که در اثر تنش سازه ها انتظار می رود بوقوع بپیوندد توسط پیش بارگذاری تا حدود 99% بر حسب مدت زمان لازم بارگذاری قبلاً انجام می شود. چنانچه زمان پیش بارگذاری برای نشست مطلوب کافی نباشد یک سر بار اضافی بیشتر از بار طرح اعمال می شود تا سرعت نشست افزایش یابد؛ (شکل ج-4). منبع قرضه برای تامین سر بار خاکی به منظور پیش بارگذاری باید از محلی انتخاب شود، که با توجه به فاصله حمل آن مقرون به صرفه باشد.

معمولاً سازه هایی که بار گسترده دارند روی چنین زمینهای بهسازی شده ساخته می شوند. از قبیل خاکریزها، جسم راه ها، مخازن ذخیره مختلف، ساختمانهای کوتاه، انبارها و کارخانه های صنعتی. ظرفیت باربری خاکهایی که با این روش بهسازی شده اند برای پی گذاری ساختمانهای بلند مناسب نمی باشند. پیش بارگذاری به روشهای زیر انجام می شود:

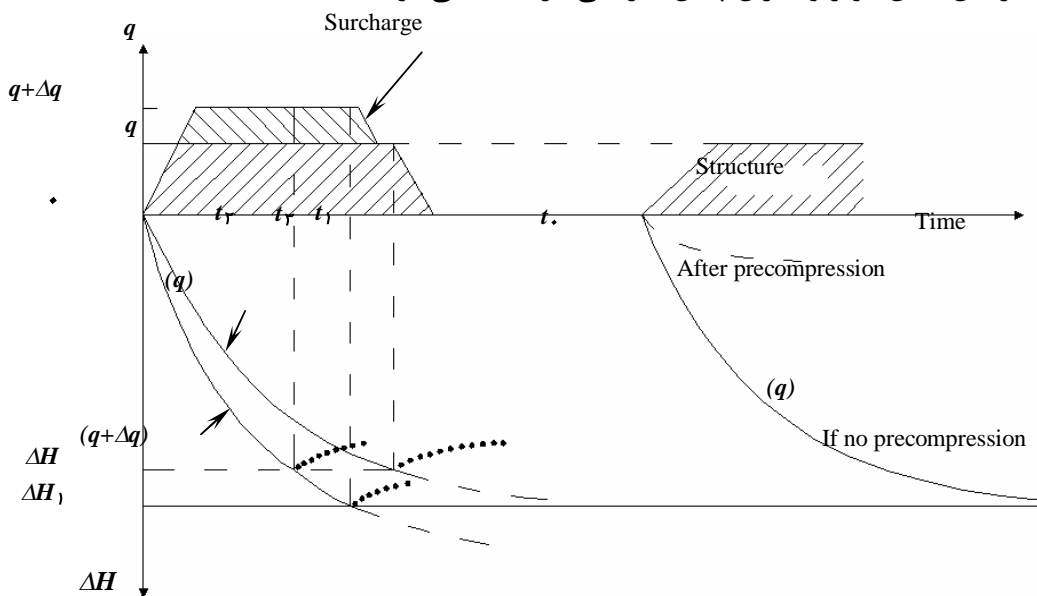
الف- استقرار خاکریز

ب- استفاده از مخازن پر شده از آب

پ- پائین بردن سطح آب زیرزمینی

ت- ایجاد خلاء در خاک با استفاده از پمپ خلاء

در مورد روشهای "الف" و "ب" قبلاً توضیح داده شد، اما پائین آوردن سطح آب زیرزمینی و ایجاد خلاء در خاک سبب افزایش تنش موثر و میزان پیش فشردگی در خاک می شود.



شکل (ج-4): پیش بارگذاری با سر بار

ج-۴- زهکشهای قائم (Vertical Drains)

اکثر اوقات زمان لازم برای پیش فشردگی طولانی می‌باشد و علت آن است که خاکریز لایه لایه و مرحله‌ای اجرا می‌شود و یا به علت اینکه سربار لازم برای کاهش زمان پیش فشردگی بسیار بزرگ می‌شود. هنگامی که تحکیم اولیه مؤلفه اصلی نشست باشد، می‌توان از زهکش‌های قائم برای افزایش سرعت تحکیم استفاده نمود. این بدین علت است که درجه تحکیم یا فاکتور زمان تابعی از مجذور طول زهکشی می‌باشد و همچنین اینکه نفوذپذیری افقی معمولاً بیشتر از نفوذپذیری قائم است.

استفاده از زهکش‌های قائم نفوذپذیری افقی را بکار می‌گیرد و طول مسیر زهکشی قائم را به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. در مورد خاکهایی که تحکیم ثانویه جزء مهمتر در نشست محسوب می‌شود، مانند رس‌های آلی، زهکش‌های قائم عملاً بی‌اثر تلقی می‌گردند. نصب و بکارگیری زهکش‌های قائم در شکل (ج-5) نشان داده شده است. برای خارج کردن آب زهکشی شده از منطقه مورد نظر وجود یک پتوی زهکش در بالای زهکش‌های قائم الزامی است.

از بهترین زهکش‌ها می‌توان زهکش‌های پلاستیکی را نام برد که بصورت نواری هستند و مزایای فراوانی دارند از جمله اینکه ارزانترند، سبکترند، کیفیت آنها ثابت می‌ماند، نصب آنها احتیاج به آب یا ماسه ندارد، هیچ اثر جانبی بر محیط اطراف خود ندارند، پتوی زهکش آنها از آلودگی پاک می‌ماند، عمر مفید زیادی دارند، تغییر شکل‌های زیادی را تحمل می‌نمایند، در حین جاگذاری در زمین و در حین پیش‌بارگذاری دچار پارگی برشی نخواهند شد و در عمق‌های بیش از 50 متر می‌توان از آنها استفاده کرد.

غلاف فیلترهای یک زهکش پلاستیکی باید دارای شرایط زیر باشد:

الف- نفوذپذیری آن نباید از نفوذپذیری خاک اطراف کمتر باشد.

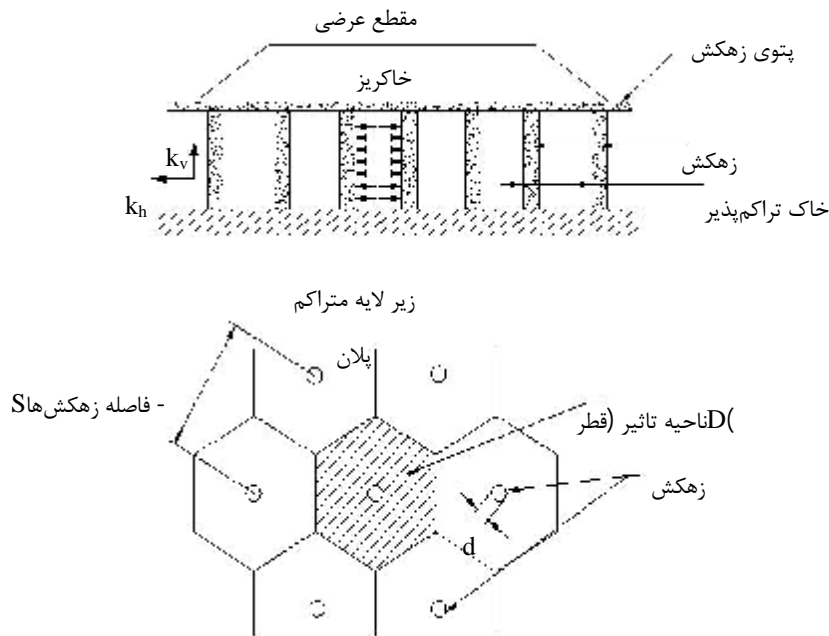
ب- ذرات با یک اندازه مشخص باید نگه داشته شوند تا کانالهای زهکش توسط آنها مسدود نشود.

ج- غلاف فیلتر باید فشارهای جانبی زیاد خاک را تحمل کند و دچار دگرگونی و اعوجاج نشود تا برای جریان آب ممانعتی ایجاد ننماید.

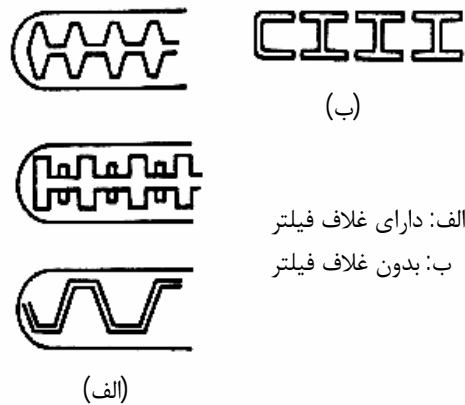
د- غلاف فیلتر باید به اندازه‌ای محکم باشد تا در حین نصب دچار آسیب‌دیدگی نشود.

ه- غلاف فیلتر در طول عمر مفیدش نباید تحت اثر فرسایش فیزیکی و شیمیایی یا بیولوژیکی قرار گیرد.

بعضی از زهکش‌ها از لوله پلاستیکی موجدار و سوراخدار ساخته شده‌اند که دور آن غلاف فیلتر قرار دارد و قطر آنها به 100 میلی‌متر می‌رسد. در شکل (ج-6) انواع زهکش‌های پلاستیکی غلاف‌دار و بدون غلاف نشان داده شده است.



شکل (ج-5): نحوه قراردادن زهکش‌های قائم



شکل (ج-6): نمونه مقطع زهکش‌های پلیاستیکی

ج-۵- روش‌های تراکم ارتعاشی جابجائی و تراکم ارتعاشی جایگزینی (Vibrodisplacement & Vibroreplacement Methods)

در خاکهای چسبنده تراکم ارتعاشی افقی و عمودی کارائی ندارند زیرا که خاصیت چسبندگی مانع از جابجائی ذرات خاک در اثر ارتعاش می‌شود. بنابراین مخروط‌های نفوذی جهت بهسازی و مسلح کردن خاکهای چسبنده بصورت تراکم ارتعاشی جابجائی (Vibrodisplacement) و تراکم ارتعاشی جایگزینی (Vibroreplacement) بکار می‌روند. مخروط ارتعاشی جابجاکننده در خاکهای رسی نیمه اشباع و غیر حساس با مقاومت برشی بین $30-60 \text{ kN/m}^2$ بکار می‌روند. در اینصورت دانه‌های خاک در اثر ارتعاش

مخروط ارتعاشی تا عمق نسبتاً زیادی جابجا می‌شوند و در هنگام خارج کردن مخروط ارتعاشی حفره بجای مانده توسط شن خوب دانه‌بندی شده با اندازه بین 75-100 میلی‌متر در لایه‌های مختلف کوبیده و پر می‌شود. در این روش از آب تحت فشار استفاده نمی‌شود، بلکه از هوای فشرده برای از بین بردن نیروی مکنندگی در هنگام بیرون آوردن مخروط ارتعاشی از گمانه استفاده می‌شود و در نهایت ستون سنگی شامل مخلوطی از شن و ماسه و خاک چسبنده متراکم بقطر 600-800 میلی‌متر در اطراف حفره ارتعاشی بوجود می‌آید. بنابراین وقتیکه ستون سنگی تحت بارگذاری عمودی قرار می‌گیرد، سبب بوجود آمدن فشار مقاوم با کرنش بسیار کم در خاک اطرافش می‌شود.

در خاکهای چسبنده بسیار نرم با مقاومت برشی کمتر از 30 kN/m^2 با فشار آب نوک مخروط ارتعاشی و خارج کردن خاک، حفره‌ای در زمین ایجاد می‌شود. سپس با جایگزین کردن لایه‌هایی از قلوه سنگ و شن و ماسه کوبیده شده ستون سنگی که قبلاً اشاره شد بوجود می‌آید. خاکهای بسیار نرم با مقاومت برشی کمتر از 14 kN/m^2 پایداری بسیار کمی در اطراف ستون سنگی بوجود می‌آورند. در این حالت ستون سنگی با قطر زیاد پایداری لازم را تامین خواهد کرد. در این نوع خاکها از سه یا چهار مخروط ارتعاشی جایگزین کننده در کنار یکدیگر برای شستن و خارج کردن خاک چاهکها استفاده می‌شود.

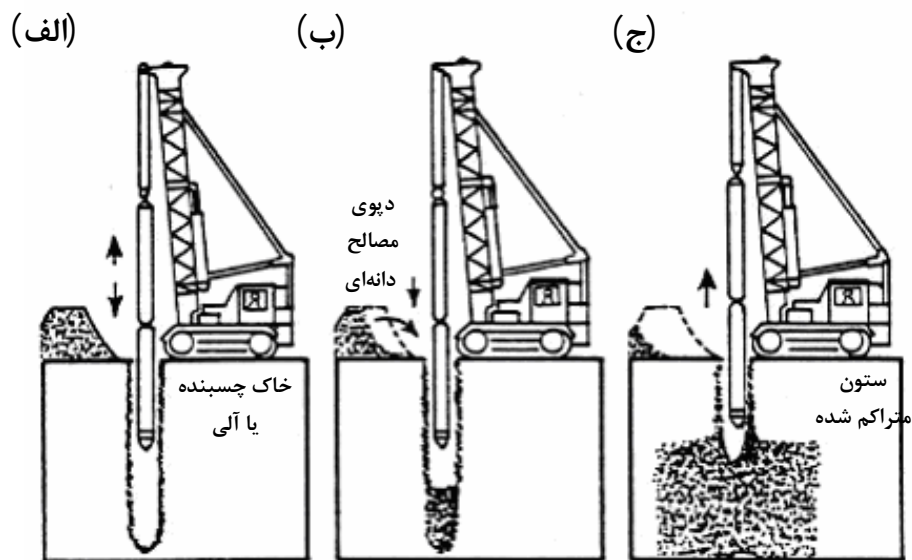
بهسازی خاکهای دستی، انباشتگاه‌ها و خاک‌هایی که دارای مقدار زیادی مواد آلی هستند بسادگی امکان‌پذیر نیست، زیرا بعلت عدم مقاومت و پایداری خاک، ستون سنگی متحمل نشست‌های شعاعی زیادی می‌شود و در نتیجه نشستهای قائم زیادی نیز در خاک انتظار می‌رود. در شکل (ج-7) نحوه اصلاح خاک با روش جایگزینی ارتعاشی و مراحل انجام این روش نشان داده شده است.

ج-۵-۱- مزایای ستون‌های سنگی

- ◆ کاهش نشست پی
- ◆ افزایش ظرفیت باربری و در نتیجه کاهش اندازه پی
- ◆ پایداری شیب‌ها
- ◆ امکان ساخت و ساز بر خاکریزها
- ◆ عملکرد ستون سنگی به عنوان نوعی پی عمیق
- ◆ جلوگیری از حرکت‌های جانبی ناشی از زلزله
- ◆ عملکرد زهکشی و تسریع در تحکیم خاکهای ریزدانه (زهکشهای قائم)

ج-۵-۲- معایب ستون‌های سنگی

عمق بهبود خاک توسط این روش محدود بوده و در حدود 30 تا 35 متر می‌باشد.



شکل (ج-۷): مراحل روش جایگزینی ارتعاشی

ج-۶ - ستونهای بتنی ارتعاشی (Vibro Concrete Column)

ستونهای بتنی ارتعاشی با استفاده از ویبراتور تخلیه تحتانی در زمین ساخته می‌شود. در این روش، خاکهای دانه‌ای متراکم شده و بار سازه توسط ستون بتنی به لایه‌های مقاوم تحتانی منتقل می‌شود. از کاربردهای این روش می‌توان به مواردی چون کاهش نشست پی، افزایش ظرفیت باربری، تثبیت شیب و هزینه کمتر در مقایسه با سایر انواع شمعها اشاره نمود.

ج-۷ - تزریق (Grouting)

تزریق روشی است که بوسیله آن مصالح دوغابی با فشار به داخل منافذ و ترکها و حفرات موجود در توده خاک و سنگ تزریق شده تا مشخصات فیزیکی و مکانیکی آنها را بهبود دهد. بهبود مشخصات شامل کاهش نفوذپذیری، افزایش مقاومت و کاهش تغییرشکل‌پذیری زمین است. برای دستیابی به هدف فوق چالهایی در زمین حفاری شده و مصالح دوغابی با فشار در آنها تزریق می‌گردند، بطوریکه حفرات و منافذ موجود پر شده و شرایط لازم بدست آید. از کاربردهای تزریق به مواردی چون افزایش ظرفیت باربری، ترمیم مشکلات ناشی از نشستهای عمقی، بالا بردن کفهای سازه‌ای و یا پایه‌ها، پرکردن حفرات، از بین بردن پتانسیل روانگرایی در مقابل بارهای دینامیکی و زلزله، جلوگیری از ریزش در فضاهای زیرزمینی، افزایش امکان ساخت و ساز بر روی پی‌ها و شمعهای قدیمی، کنترل نشست مایعات و آب، پایدارسازی جابجائی و ریزش در ترانشه‌ها و خاکریزها، کنترل و کاهش نشست سازه‌های مجاور گودبرداری‌ها، تعمیر پی‌های سازه‌ها بدون مزاحمت برای کاربری آنها و انجام کار بهسازی در محل‌های محدود اشاره نمود.

ج-۷-۱- انواع روشهای تزریق

روشهای مختلف تزریق را می توان بصورت زیر تقسیم بندی نمود.

♦ تزریق دوغابی یا نفوذی (Slurry Grouting): نفوذ دوغاب روان تحت فشار به حفرات و درزه های باز در سنگها و خاکها

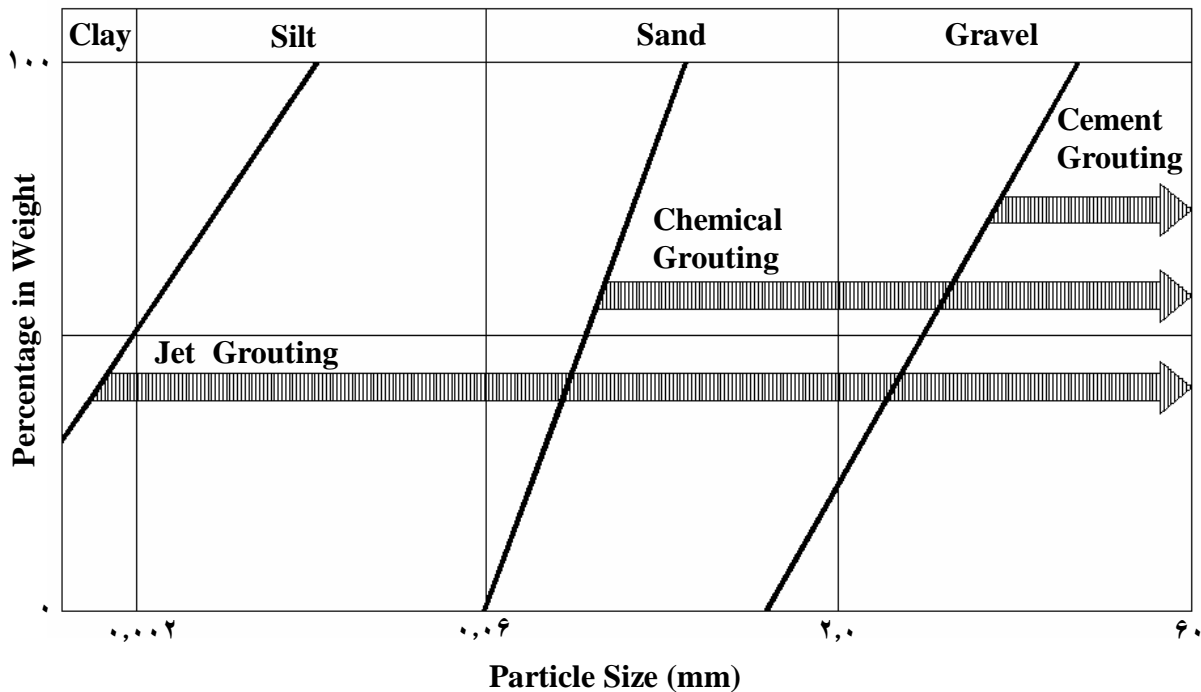
♦ تزریق شیمیایی (Chemical Grouting): استفاده از تزریق مواد شیمیایی چسبنده با فشار به داخل توده خاک برای افزایش مقاومت برشی خاک و پیوند ذرات خاک

♦ تزریق تراکمی یا جابجایی (Compaction Grouting): تزریق دوغاب با فشار زیاد برای جابجایی ذرات خاک و متراکم کردن توده خاک برای افزایش باربری و کاهش نشست آن

♦ تزریق با فشار بالا (Jet Grouting): روش تزریق با فشار زیاد که برای سیمانته کردن مجموعه خاک، افزایش باربری و کاهش نشست بکار می رود

♦ تزریق شکافتی (Fracture Grouting): تزریق دوغاب با فشار بسیار زیاد برای ایجاد شکاف و تثبیت خاک است

محدوده کاربرد روشهای مختلف تزریق با توجه به نوع خاک در شکل (ج-8) نشان داده شده است.



شکل (ج-8): محدوده کاربرد روشهای مختلف تزریق

ج-7-1-1- تزریق با فشار بسیار بالا (Jet Grouting)

تزریق با فشار بسیار بالا یا "جت گروتینگ" روشی برای اصلاح خاک و تغییر پارامترهای آن است. در این روش، تزریق آب یا دوغاب (موسوم به جت آب یا دوغاب) با فشار بسیار زیاد بین 40 تا 60 مگاپاسکال و سرعت بالا

باعث تخریب ساختار خاک شده و ذرات بوجود آمده در اثر این فرآیند را از درون گمانه تخلیه و با دوغاب سیمان جایگزین می‌نماید. ذراتی که از محل گمانه حفاری شده خارج نشده‌اند بصورت درجا با دوغاب مخلوط شده و توده‌ای از خاک اصلاح‌شده (خاک سیمانی‌شده) به شکل شبه استوانه‌ای را که ستون "جت گروت" شده نامیده می‌شود، بوجود می‌آورند. برای این توده نام خاک-سیمان (Soilcrete) انتخاب شده است.

ویژگیهای این ستون جت گروت شده عبارت است از: مقاومت بالا، تغییرشکل پذیری کم و نفوذپذیری بسیار پایین. تزریق به روش جت گروتینگ، با حفاری یک گمانه که قطر آن معمولاً بین 100 تا 150 میلی‌متر می‌باشد آغاز می‌شود. این حفاری تا عمق مورد نیاز برای اجرای توده خاک اصلاح شده یا خاک-سیمان (Soilcrete) ادامه می‌یابد. این حفاری به منظور پایین فرستادن مجموعه نازل‌ها و لوله‌های تزریق که مانیتور نامیده می‌شود، انجام می‌گردد. نازل‌ها، خروجیهای شیپوره‌ای شکلی هستند که جریان آب یا دوغاب با فشار بسیار بالا را به جریان با سرعت زیاد که بطور مستقیم به خاک برخورد می‌کند، تبدیل می‌نمایند.

در این روش، لزوماً نیازی به حفر گمانه بصورت قائم نیست و گاه ممکن است برای فراهم آوردن دسترسی، حفاری بصورت مورب مورد نیاز باشد. می‌توان قبل از پایین فرستادن مانیتور، حفاری گمانه‌ها را با یکی از روشهای موجود حفاری در سنگ یا روبره، به انجام رساند. این روش به پیش حفاری (Pre-Drilling) معروف است. در عین حال می‌توان با نصب کردن سرته‌ای متناسب با شرایط زمین به انتهای مانیتور، کار حفاری را همزمان با پایین فرستادن مانیتورها انجام داد. این روش به روش خود حفاری (Self-Drilling) معروف است.

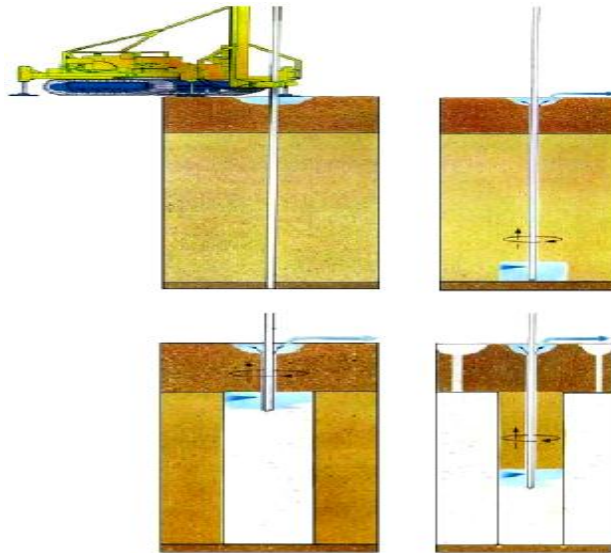
روشهای مختلف "جت گروتینگ"

تزریق با فشار بالا به سه سیستم انجام می‌شود. انتخاب هر یک از این سیستمها به نوع خاک، کاربرد روش و مشخصات خاک مخلوط شده بستگی دارد.

♦ سیستم تزریق تک مایع (Single): دوغاب سیمان از طریق میله‌های هادی پمپ شده و از پستانک‌های افقی با سرعت زیاد (حدود 200 متر در ثانیه) بافت خاک را متلاشی کرده و با آن مخلوط می‌شود. کاربرد این سیستم در خاکهای چسبنده محدود است.

♦ سیستم تزریق دو مایع (Double): مجموعه دوگانه میله‌های هادی (یکی در داخل دیگری) دوغاب و هوای فشرده را به پستانک‌های مجزا منتقل می‌کند. دوغاب برای متلاشی کردن بافت خاک و اختلاط با آن بکار می‌رود. هوای فشرده با در میان گرفتن دوغاب اثر فرسایشی آنرا افزایش می‌دهد و قطر بزرگتری از ستون خاک-سیمان می‌سازد. سیستم دوگانه در خاکهای چسبنده از سیستم یک مایع، مؤثرتر است.

♦ سیستم تزریق سه مایع (Triple): دوغاب، هوا و آب از سه مجرای متفاوت خارج می‌شوند. هوای فشرده و آب با فشار بالا عمل تخریب بافت خاک را انجام می‌دهند. دوغاب سیمان با سرعتی کمتر پائین‌تر از آب و هوا خارج می‌شود. این ترکیب عمل تخریب و اختلاط را مجزا نموده و کیفیت بهتری ارائه می‌دهد. سیستم سه‌گانه در خاکهای چسبنده مؤثرترین روش ایجاد ستون‌های خاک-سیمان است. در شکل (ج-9) نحوه اصلاح خاک با روش تزریق با فشار ارائه شده است.



مزایای تزریق با فشار بالا

- ◆ تقریباً در تمام انواع خاکها قابل استفاده است
- ◆ مقاومت و نفوذپذیری حاصل از آن قابل طراحی است
- ◆ محل‌های اصلاح خاک قابل کنترل است
- ◆ عملیات اجرایی ارتعاش ندارد
- ◆ در فضای محدود کاری، عملیات انجام می‌شود
- ◆ هرگونه شکل هندسی قابل اجراست
- ◆ نیاز به نگهداری ندارد .
- ◆ ایمن‌ترین نوع از عملیات اجرایی است .
- ◆ در اطراف تأسیسات زیرزمینی موجود می‌تواند استفاده شود.
- ◆ مؤثرترین روش مستقیم اصلاح ساختمان‌های موجود در تأسیسات است.
- ◆ بسیار سریع است .
- ◆ در شرایط نیاز به کنترل آبهای زیرزمینی و یا گودبرداری در خاکهای ناپایدار بواسطه آب زیرزمینی، کاربرد دارد.
- ◆ قابلیت اصلاح خاک تا عمق 70 متر را دارد.

معایب تزریق با فشار بالا

شاید هزینه بالای این روش تنها عیب آن باشد.

ج-7-1-2- تزریق شکافتی (Fracture Grouting)

در این روش با تزریق دوغاب در خاک و ایجاد شکست هیدرولیکی در آن، نشست ساختمانها کنترل می‌گردد. دوغاب کنترل شده با ورود در شکافها باعث بالآمدگی خاک شده و نشست ایجاد شده قبلی را جبران می‌نماید. تزریق در چند مرحله در سطوح مختلف زیر پی بعمل می‌آید و با انجام آن، خاک مسلح و تقویت می‌گردد. از کاربردهای این روش می‌توان به مواردی چون کاهش و یا معکوس کردن روند اختلاف نشست، کاهش و یا معکوس کردن روند نشست کلی و جلوگیری از نشست ساختمانها بعلت اجرای عملیات تونلسازی اشاره نمود. مزایای این روش بشرح زیر هستند:

- ◆ کنترل نشست در خارج از سازه بعمل می‌آید و مزاحمتی برای ساکنین بوجود نمی‌آورد
- ◆ تزریق می‌تواند در صورت لزوم به دفعات برای اصلاح نشست انجام شود
- ◆ کنترل و اصلاح نشست در نقاط و سطوح مختلف مقدور است

ج-8- اختلاط عمیق خاک (Deep Soil Mixing)

این روش، مخلوط کردن مکانیکی خاک درجا با مواد افزودنی از قبیل سیمان، آهک و ... توسط اوگرهای توخالی مخصوص است. با پیشروی پره‌های اختلاط در زمین، مواد افزودنی که از داخل اوگرهای توخالی منتقل شده‌اند با خاک مخلوط می‌گردند. ستونهای منفرد و یا دیوارهای یکپارچه توسط چرخش اوگرها ساخته می‌شود. در این روش معمولاً سیمان بصورت دوغاب با خاک مخلوط می‌گردد. هر چند امکان استفاده از سیمان بصورت خشک نیز مقدور است. برحسب نوع خاک، حجم دوغاب بین 20 تا 30 درصد حجم خاک انتخاب می‌شود. از کاربردهای این روش می‌توان به مواردی چون اجرای دیوارهای قائم، حفاظت شیب خاکبرداری، توسعه بنادر، پایدارسازی تونل، تقویت پی، محدودکردن مواد شیمیایی مضر و اصلاح پارامترهای ژئوتکنیکی از قبیل مقاومت فشاری، مقاومت برشی و یا نفوذپذیری اشاره نمود. از جمله مزایای این روش می‌توان به امکان ساخت و ساز سریع بر روی خاکهای نرم و چسبنده اصلاح شده توسط این روش و اصلاح موضعی پی‌ها و دیوارهای حائل اشاره کرد.

ج-9- ژئوسینتتیکها (Geosynthetics)

ژئوسینتتیکها محصولاتی هستند که از مواد پلیمری ساخته شده و در مهندسی ژئوتکنیک کاربردهای زیادی دارند. استفاده از ژئوسینتتیکها در داخل خاک باعث اصلاح و تقویت برخی خصوصیات خاک نظیر مقاومت برشی، قابلیت زهکشی، فیلتراسیون و ... می‌شود. در حقیقت با استفاده از این محصولات

خصوصیات فیزیکی و مکانیکی زمین را بنحویکه شرایط پروژه ایجاب می کند، می توان تغییر داد و به این طریق نیازهای طرح را برآورده نمود. ژئوسینتتیکها به پنج دسته کلی زیر تقسیم بندی می شوند:

◆ ژئوتکستایلها (Geotextiles)

◆ ژئوگریدها (Geogrids)

◆ ژئونتها (Geonets)

◆ ژئوممبرینها (Geomembranes)

◆ ژئوکامپوزیتها (Geocomposites)

هر یک از ژئوسینتتیکها حداقل یک یا چند مورد از کاربری های زیر را دارا هستند:

◆ جداسازی (Separation)

◆ تسلیح (Reinforcement)

◆ فیلتراسیون (Filtration)

◆ زهکشی (Drainage)

◆ عایق بندی و آب بندی (Lining)

ج-۱۰- مقایسه روشهای بهسازی

برای بررسی و مقایسه روشهای مختلف بهسازی، خصوصیات این روشها در جدول (ج-۱) ارائه شده است. موارد مطرح شده در این جدول حالت عمومی داشته و برای کلیه مناطق قابل کاربرد است.

جدول (ج-1): مشخصات روشهای مختلف بهسازی زمین

روش	نوع خاک مناسب	عمق مؤثر (m)	جانمایی معمول و فواصل نهایی	میزان اصلاح قابل دسترس	مزایا	محدودیتها
تراکم دینامیکی	خاکهای درشتدانه، ماسه‌های اشباع و ماسه‌های لای‌دار، ماسه‌های نیمه اشباع	بین 10 تا 12	آرایش مربعی در فواصل 2 تا 6 متری	$D_r = 80\%$ $(N_1)_{60} = 25$ $q_c = 10-15 \text{ MPa}$	قیمت پایین، سادگی	عمق تاثیر محدود، آلودگیهای صوتی و ارتعاشی
تراکم ارتعاشی	ماسه‌ها، ماسه‌های لای‌دار و ماسه‌های شن‌دار (درصد ریزدانه کمتر از 20%)	30	آرایش مربعی یا مثلثی در فواصل 1/5 تا 3 متری	$D_r = 80\%$ $(N_1)_{60} = 25$ $q_c = 10-15 \text{ MPa}$	یکنواختی با عمق	نیاز به ابزار ویژه، نامناسب در خاکهای قله‌سنگی
ستونهای سنگی تراکم جایگزینی	خاکهای نرم، ماسه‌های رسی یا لای‌دار، لای‌ها، لای رس‌دار	30	آرایش مربعی یا مثلثی در فواصل 1/5 تا 3 متری	$(N_1)_{60} = 20$ $q_c = 10-12 \text{ MPa}$	زهکشی، یکنواختی با عمق	نیاز به ابزار ویژه، غیرقابل استفاده در خاکهای قله‌سنگی
زهکش‌های شنی	ماسه‌ها، ماسه‌های لای‌دار	20	فواصل با هدف حداقل کردن نسبت فشار آب منفذی اضافی انتخاب می‌شوند	کم کردن فشار آب منفذی	ارزان، نیازی به اصلاح کلی منطقه نیست	ممکن است نیاز شود در فواصل خیلی نزدیک اجرا گردد
تراکم انفجاری	ماسه‌ها و ماسه‌های لای‌دار اشباع	نامحدود	آرایش مربعی یا مثلثی در فواصل 3 تا 8 متری	$D_r = 75\%$ $(N_1)_{60} = 20-25$ $q_c = 10-12 \text{ MPa}$	ارزان، تکنولوژی ساده	آلودگیهای صوتی و ارتعاشی
اختلاط عمیق خاک	در تمامی خاکها	20	بسته به نوع کاربرد	بستگی به اندازه، قدرت و نوع دستگاه و نوع خاک دارد	مقاومت بالا، مسلح کردن زمین	نیاز به ابزارهای خاص، المانهای شکننده ایجاد می‌گردد
تزریق با فشار بالا	در تمامی خاکها (در خاکهای رسی با پلاستیسیته بالا مشکل است)	نامحدود	بسته به نوع کاربرد	بستگی به اندازه، قدرت و نوع دستگاه و نوع خاک دارد	اصلاح تحت کنترل می‌باشد، در فضاهای محدود شهری قابل اجرا است	قیمت بالا

ادامه جدول (ج-1)

روش	نوع خاک مناسب	عمق مؤثر (m)	جانمایی معمول و فواصل نهایی	میزان اصلاح قابل دسترس	مزایا	محدودیت‌ها
زهکش‌های قائم فتیل‌ای	خاکهای با قابلیت فشرده‌گی متوسط تا بالا، ماسه‌های رس‌دار، لای‌ها، رسها	تا 65 متر، بیش از 20 متر نیاز به جرف‌تفیل دارد	آرایش مربعی یا مثلثی در فواصل 1/5 تا 6 متری	بستگی به فشار تحکیمی نهایی دارد	قیمت پایین، ساده	نامناسب، اگر در بالای لایه نفوذپذیر موانعی باشد
جایگزینی	تمامی خاکها	در عمق‌های کم	-	مصالح پرکننده با دانسیته بالا تا مصالح سیمانته شده	می‌توان تا تراز اصلاح مناسب طراحی شود	گران، ممکن است به وجود سازه‌های حائل در هنگام گودبرداری نیاز باشد
اختلاط	از سیمان برای اصلاح ماسه‌ها، ماسه‌های لای‌دار و از آهک برای اصلاح رسها و ماسه‌های رس‌دار	در عمق‌های کم	-	مصالح پرکننده با دانسیته بالا تا مصالح سیمانته شده	می‌توان تا تراز اصلاح مناسب طراحی شود	نتایج به میزان مواد افزودنی و تراکم در محل بستگی دارد
ریز شمعه‌ها	تمامی خاکها	-	بستگی به کاربرد دارد	بارها را از میان خاکهای ضعیف منتقل می‌کند	حمایت از سازه‌ها	گران، پتانسیل نشست در اطراف سازه‌ها
مهار خاک	تمام خاکها بجز رسهای خیلی نرم	نامحدود	یک مهار تزریق شده بین 1 تا 5 متر مربع را پوشش می‌دهد	پایدارسازی شیبهای بریده شده و حفاری شده	سیستم انعطاف‌پذیر است، می‌تواند حرکت‌های بزرگ را تحمل کند، مقاومت بالا در مقابل حرکت‌های دینامیکی	گودبرداری باید تا قبل از نصب مهارها پایدار بماند
بیوتکنولوژی	تمامی خاکها	عمق‌های کم	بسته به نوع کاربرد	پایدارسازی شیبها	تطابق با طبیعت	تا وقتی گیاهان زنده هستند شیب پایدار ۱۷ : ۱H است، برای شیبهای تندتر از بسختی می‌توان از این روش استفاده کرد

پیوست "د"

دستورالعمل‌ها و پیشنهادهای طراحی شمع

د-۱- مطالعات ژئوتکنیک (گام اول)

قبل از اقدام به طرح نهائی شمع حتماً باید مطالعات ژئوتکنیک انجام پذیرفته باشد. چنانچه مهندس طراح شمع مسئولیت ارائه شرح خدمات لازم برای مطالعات ژئوتکنیک را نیز به عهده داشته باشد باید روشهای حفاری، نمونه برداری و ترکیب مناسبی از آزمایشهای برجا متناسب با نیازهای طرح را پیشنهاد نماید. اگر سایت دارای گستره وسیعی باشد بهتر است که نقاط آزمایش بر روی یک شبکه شطرنجی انتخاب شده تا از نتایج حاصله بتوان وضعیت تغییرات لایه‌ها در هر راستا را بدست آورد. در صورت معلوم بودن محل سازه‌های مهم و حساس با نیروی زیاد بهتر است که نقاط پیشنهادی حتی الامکان منطبق با محل پی‌های مهم باشند. در پروژه‌های خطی از قبیل پلها، خطوط لوله، ... نقاط آزمایش بر محل پایه‌ها و کوله‌های طرفین پیشنهاد گردند.

توصیه‌های فنی مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی در بندهای 3-3 و 4-3 ارائه شده‌اند.

د-۲- بررسی ضرورت استفاده از شمع (گام دوم)

قبل از نهائی کردن استفاده از شمع باید امکان استفاده از پی سطحی پس از بهسازی زمین به دقت بررسی شده باشد. انتخاب پی عمیق بر اساس یک مقایسه فنی - اقتصادی با سایر روشهای بهسازی خاک صورت پذیرد.

د-۳- ملزومات طراحی: بارگذاری، عمق و نحوه استقرار، جنس و آرایش شمع‌ها (گام سوم)

پس از تعیین سهم بار هر شمع، باید عمق تقریبی استقرار با توجه به لایه‌بندی زمین و امکانات اجرایی تعیین گردد. حتی الامکان بهتر است که نوک شمع در یک لایه نسبتاً مقاوم قرار گیرد. همچنین در این مرحله باید راجع به نحوه استقرار و اجرای شمع تصمیم‌گیری نمود. انتخاب نوع شمع باید بر اساس یک مقایسه فنی - اقتصادی بین شمع‌های کوبشی و درجاریز انجام گیرد. از موارد مهم دیگر این مرحله مشخص نمودن آرایش و جنس شمع‌ها است. پاسخ به این سؤال که شمع‌ها بصورت انفرادی طرح شوند یا گروهی، و در صورتیکه گروهی باشند تعداد و نحوه آرایش آنها چگونه باشد، از موارد مهم این مرحله است. انتخاب جنس شمع به عوامل متعددی مانند شرایط محیطی (خوردگی،

مجاورت با محیطهای سولفاتی و یا دارای کلر، شرایط زیست‌محیطی و ...، نیروهای وارده، جنس لایه‌ها، اقتصاد طرح و امکانات اجرایی بستگی دارد.

با توجه به بافت دانه‌ای منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس، استفاده از شمع‌های فولادی با نوک باز تقویت شده مناسب است. در غیر اینصورت کوبش مشکل بوده و یا نوک شمع دچار آسیب می‌گردد.

به عنوان یک گزینه مناسب، می‌توان از شمع‌های بتنی پیش‌تنیده با مقاومت بالا، سبک و دارای نفوذپذیری بسیار پائین و در نتیجه مقاوم در مقابل عوامل محیطی مانند خوردگی که به روش سانتریفیوژ ساخته می‌شود استفاده نمود. این شمع‌ها که دارای مقطع دایروی و توخالی هستند، علاوه بر محاسن فوق، از لحاظ اقتصادی قابل رقابت با شمع‌های متداول نیز هستند.

د-۴- ملاحظات عمده طراحی شمع (گام چهارم)

در طراحی شمع تعیین ظرفیت باربری محوری، کنترل نشست و طرح سازه‌ای از مهمترین موارد است. با مشخص بودن طول، هندسه مقطع، جنس شمع و همچنین مشخصه‌های ژئوتکنیکی لایه‌های زمین می‌توان ظرفیت باربری را محاسبه نمود. با اعمال ضریب اطمینان مقاومت مجاز تعیین می‌گردد.

در مرحله بعد نشست شمع (یا گروه شمع) نیز محاسبه شده و با مقدار نشست مجاز مقایسه می‌گردد. سپس شمع از لحاظ سازه‌ای تحلیل و طراحی می‌شود. دستورالعمل‌های پیشنهادی برای محاسبه ظرفیت باربری، نشست و طرح سازه‌ای در ادامه ارائه می‌شوند.

الف: تعیین ظرفیت باربری

روشهای مختلف تعیین ظرفیت باربری شمع را می‌توان در چهار دسته تقسیم‌بندی نمود که بسته به اندازه و اهمیت پروژه از یک یا ترکیبی از آنها استفاده می‌شود:

- ◆ روشهای مبتنی بر تحلیل استاتیکی (مانند روشهای ترزاقی، مایرهوف، وسیک، جانبو، API^1 ، $CFEM^2$ ، ... برای مقاومت نوک و روشهای α ، β و λ برای مقاومت اصطکاکی)
- ◆ استفاده مستقیم از نتایج آزمایشهای برجا
- ◆ آزمایش بارگذاری استاتیکی
- ◆ روشهای مبتنی بر آزمایش و تحلیلهای دینامیکی: فرمولهای دینامیکی، تحلیل معادله موج (WEAP)، تست دینامیکی شمع (PDA)، تحلیل انطباق سیگنال (مانند CAPWAP)، تست کنترل یکپارچگی شمع (PIT)(پیوست "ه")

¹ American Petroleum Institute

² Canadian Foundation Engineering Manual

در مرحله اول ظرفیت باربری نوک شمع از تحلیل‌های استاتیکی تعیین می‌گردد. با توجه به پراکندگی زیاد نتایج حاصل از روشهای مختلف تحلیل استاتیکی، توصیه می‌شود که مقاومت نوک با استفاده از یک یا چند روش تخمین زده شود. انتخاب روشها بستگی به شرایط زمین، روش اجرای شمع و تجربه طراح دارد. در محاسبه مقاومت اصطکاکی، روش β بعنوان مقاومت حاصل از تنشهای مؤثر، مناسبترین روش برای خاکهای دانه‌ای است. برای خاکهای چسبنده روش متداول استفاده از روش α یا تنش کل است. در خاکهای رسی عادی تحکیم‌یافته، در صورت داشتن پارامترهای تنش مؤثر (ϕ') نیز می‌توان از روش β استفاده نمود.

در مرحله دوم ظرفیت باربری بدست آمده با یک یا چند روش مکمل تدقیق می‌گردد. منظور از روشهای مکمل استفاده از نتایج آزمایشهای برجا بطور مستقیم، آزمایش بارگذاری استاتیکی و روشهای دینامیکی است. روشهای مکمل علاوه بر تدقیق و کنترل ظرفیت باربری، برای تفکیک مقاومت‌های نوک و اصطکاکی، تعیین عمق بهینه استقرار شمع، کنترل تنشهای حاصل از شمع کوبی، کنترل صحت و یکپارچگی شمع و ... نیز بکار می‌روند. نحوه بکارگیری یک یا چند مورد از روشهای مکمل در هر پروژه به عوامل متعددی به شرح زیر بستگی دارد:

(الف) اندازه، اهمیت و حساسیت پروژه

(ب) تعداد شمع‌های لازم در کل پروژه

(ج) پیچیدگیهای ژئوتکنیکی محل

(د) روش و تجهیزات اجرایی

پروژه‌های اجرایی دارای شمع را می‌توان به پروژه‌های کوچک، متوسط و بزرگ تقسیم نمود. پروژه‌های اجرای شمع در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس شرایط پروژه‌های بزرگ را داراست، بنابراین توصیه‌های مربوط به نحوه استفاده از روشهای ترکیبی برای اینگونه پروژه‌ها در این قسمت ارائه می‌شود.

پروژه‌های بزرگ: چنانچه تعداد شمع‌ها بسیار زیاد بوده، پروژه از اهمیت و حساسیت ویژه‌ای برخوردار باشد و یا شرایط بستر بسیار متغیر و یا نامساعد باشد، توصیه می‌شود که از ترکیبی از کلیه روشهای چهارگانه استفاده گردد. در چنین شرایطی استفاده از تحلیل‌های استاتیکی، تنها در مرحله مقدماتی پروژه توجیه‌پذیر است.

انجام حداقل 2 آزمایش بارگذاری استاتیکی با نصب ابزار (Tell Tale) برای تفکیک مقاومت‌های نوک و اصطکاکی توصیه می‌گردد. محل انجام آزمایش بارگذاری بر اساس پروفیل وضعیت ژئوتکنیکی محل و جانمایی سازه‌ها انتخاب خواهد شد.

توصیه می‌گردد که قبل از انجام عملیات شمع کوبی، تعدادی شمع آزمایشی در کل سایت و یا در نقاط کلیدی و مهم کوبیده شوند تا در صورت لزوم طرح بازنگری شود.

در چنین پروژه‌هایی چنانچه عملیات شمع کوبی وجود دارد، قبل از تجهیز کارگاه بهتر است از تحلیل WEAP به منظور برنامه‌ریزی عملیات شمع کوبی، زمان لازم برای کوبش شمع‌ها، انتخاب شمع کوب بهینه و تنشهای ایجاد شده در شمع ناشی از شمع کوبی بهره جست.

چند توصیه مهم:

- ♦ در پروژیهائی که آزمایش PDA انجام نشده (مانند شمع‌های برجاریز و یا شرایطی که تجهیزات PDA موجود نباشد)، توصیه می‌گردد برای کنترل یکپارچگی شمع‌های اجرا شده حتی‌الامکان آزمایش PIT (تست یکپارچگی شمع) انجام پذیرد.
- ♦ آزمایشهای بارگذاری استاتیکی بهتر است که تا بار نهائی ادامه یابند. در اینصورت علاوه بر اینکه طرح اقتصادی‌تر و در عین حال ایمن‌تر خواهد شد، آشنائی بیشتری نسبت به رفتار شمع در خاکهای منطقه حاصل می‌گردد.
- ♦ چنانچه امکان بارگذاری استاتیکی تا حد نهائی روی شمع‌های اصلی فراهم نباشد (مانند شمع‌های برجاریز با قطر بالا)، می‌توان شمع‌های آزمایشی با مقطع کوچکتر از شمع اصلی صرفاً به منظور آزمایش بارگذاری اجرا نموده و پارامترهای خاک را با تحلیل برگشتی (Back Analysis) استخراج و سپس با روشهای تحلیل استاتیکی ظرفیت باربری شمع اصلی را محاسبه نمود. در اینصورت لازم است شمع‌های آزمایشی دارای طول استقرار معادل شمع‌های اصلی باشند.

ب: کنترل نشست

گرچه اغلب مواقع شمع‌ها بعنوان یک روش برای اجتناب از نشست زیاد پی‌های سطحی بکار می‌روند و گاهاً تصور می‌شود که شمع‌ها دچار نشست نخواهند شد، اما در مورد شمع‌های اصطکاکی و بخصوص شمع‌هایی که در زیر صفحه خنثی آنها لایه‌های نشست‌پذیر وجود دارد، کنترل نشست باید با دقت انجام شود.

منحنی نیرو- نشست حاصل از بارگذاری استاتیکی برای تخمین نشست‌های کوتاه‌مدت تحت بارهای سرویس نیز کاربرد دارد. اما از این منحنی برای کنترل نشست‌های درازمدت ناشی از تحکیم نباید استفاده کرد.

ج: طرح سازه‌ای

بعد از تعیین ظرفیت باربری مجاز و کنترل نشست، لازم است مقطع شمع از لحاظ سازه‌ای کنترل گردد. در این کنترل به موارد زیر باید توجه شود:

- ♦ کنترل نیروی محوری در محل صفحه خنثی؛ بویژه در مواردی که اصطکاک منفی مسأله قابل توجهی است.
- ♦ شمع‌های طویل در خاکهای نرم با مقاومت بالا (از نظر کمانش).
- ♦ تنش‌های حاصل از چکش در شمع کوبی (کششی و فشاری).
- ♦ تنش‌های خمشی ناشی از حمل و نقل.
- ♦ تنش‌های ناشی از بارهای جانبی و لنگر خمشی.

د-۵- تعیین ضریب اطمینان (گام پنجم)

برای تعیین بار مجاز روی شمع معمولاً بار نهائی یا ظرفیت باربری شمع به ضریب اطمینان تقسیم می‌شود. مقدار ضریب اطمینان به ریسک‌پذیری عواقب مربوط به خرابی سازه و میزان دانش و آگاهی نسبت به بارهای وارده دارد. پارامترهای مؤثر در تعیین ضریب اطمینان همچنین به تغییرات ظرفیت باربری در محل، چگونگی انجام و تعداد آزمایش‌های بارگذاری استاتیکی و یا دینامیکی و در نهایت روش تفسیر نتایج آزمایش بارگذاری روی شمع بستگی دارد. در مجموع توصیه می‌گردد که مقدار ضریب اطمینان در محدوده 2 تا 3 در نظر گرفته شود.

د-۶- بررسی اثر بار جانبی (گام ششم)

علاوه بر بار محوری، شمع‌ها عموماً تحت تاثیر نیروهای جانبی و یا لنگر خمشی نیز قرار دارند. نیروی جانبی ممکن است ناشی از اثر زلزله، باد، امواج، پهلوگیری کشتی، ... باشد. تحلیل و ارزیابی رفتار شمع تحت اثر بار جانبی یک مسئله اندرکنشی است. از سوی دیگر، خاک معمولاً دارای لایه‌بندیهای مختلف و در نتیجه تغییر مشخصه‌های مکانیکی است. همچنین خواص هر لایه نیز با عمق تغییر می‌نماید. در نتیجه تحلیل چنین مساله‌ای هم نامعین است و هم شرایط ناهمگونی و تکرار بار خارجی وارده و عوامل مؤثر دیگر بر حساسیت مساله می‌افزاید. هدف اصلی از تحلیل شمع تحت بار جانبی تعیین توزیع نیروی برشی و لنگر خمشی در شمع به منظور طرح سازه‌ای شمع از یکسو و همچنین کنترل تغییر مکان جانبی شمع، بویژه تغییر مکان راس شمع است. روشهای متعددی در ادبیات فنی برای تحلیل شمع تحت بار جانبی ارائه شده است. این روشها بر حسب طول و سختی شمع، جنس خاک و نوع بارگذاری ممکن است دارای کاربری یا توانائی خاصی باشند.

روشهای مختلف تحلیل شمع تحت بار جانبی را می‌توان به سه دسته تقسیم نمود: (1) روشهای مبتنی بر مدل‌های ساده ریاضی، (2) مدل‌های عددی مبتنی بر منحنی‌های $p-y$ و (3) مدل‌های عددی پیچیده مانند روش اجزاء محدود. مدل‌های دسته اول در برآورد اولیه و سریع وضعیت کلی شمع مفید بوده و بسته به تجربه طراح، می‌توان به شرط انتخاب الگوریتم متناسب با شرایط خاک و نوع بارگذاری، نتایج قابل قبولی از آنها استخراج نمود. از جمله این روشها روش منتسب به Broms است که بر حسب میزان انعطاف‌پذیری شمع نسبت به خاک اطراف، همچنین جنس خاک (اصطکاکی یا چسبنده) روابط و گرافهای کاربردی ساده‌ای ارائه کرده است. مدل‌های دسته دوم، یعنی منحنی‌های $p-y$ امروزه کاربرد زیادی پیدا کرده است و به شرط معرفی مناسبی از روابط نیرو- تغییر شکل خاک در هر رقوم و لایه، یا همان منحنی‌های $p-y$ ، می‌توان پاسخهای بسیار خوبی از تحلیل بدست آورد. با شبیه‌سازی اثر زائل‌شوندگی رفتار خاک تحت بار سیکلی، می‌توان تحلیل را برای شرایط نیروهای سیکلی نیز انجام داد. مدل‌های عددی پیچیده (مانند روش اجزاء محدود) عموماً ارزش و کاربرد تحقیقاتی داشته و استفاده از آنها برای تحلیل و طراحی مهندسی در زمینه رفتار شمع چندان متداول نیست.

از جمله نکاتی که در تحلیل باید توجه داشت وضعیت گیرداری راس شمع است. با توجه به سختی بالاتر کلاهک نسبت به شمع، باید در گروه شمع‌ها از دوران راس شمع صرف‌نظر نمود. گیرداری راس شمع تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر توزیع لنگر و همچنین کاهش تغییرشکل جانبی راس شمع دارد.

در پروژه‌های پتروشیمی و پالایشگاه، مخازن ذخیره‌سازی مایعات بسیار متداول است. در این شرایط تحت نیروهای زلزله، بایستی اثر حرکت و اصابت مایعات به جداره مخزن در تحلیل دیده شود.

همچنین لازم است که آزمایش بارگذاری شمع تحت بار جانبی بر روی چند شمع آزمایشی و یا واقعی انجام شود. برای این منظور باید از دستورالعمل استانداردها بهره جست.

د-۷- بررسی اثر گروه‌شمع (گام هفتم)

از شمع‌ها به عنوان پی یک سازه، اغلب به صورت گروهی استفاده می‌شود. نکته مهم اینست که آیا ظرفیت باربری گروه شمع متشکل از n شمع، برابر مجموع ظرفیت باربری تک تک شمعها است؟ برای ارزیابی این مسئله معمولاً از هریک از دو روش زیر استفاده می‌شود:

الف- استفاده از ضریب راندمان گروه (Group Efficiency)

ضریب راندمان گروه معادل ظرفیت باربری گروه شمع به مجموع ظرفیت باربری تک شمعهای آن گروه است. برای تعیین راندمان گروه شمع روابط متعددی در ادبیات فنی موجود است.

ب- مقایسه بین گسیختگی عادی تک شمعها و گسیختگی بلوکی

گسیختگی عادی: در مواردی رخ می‌دهد که فاصله بین تک شمع‌ها در گروه زیاد بوده و در این موارد شمع‌های موجود در گروه به صورت مستقل از گروه عمل می‌کنند.

گسیختگی بلوکی: در مواردی رخ می‌دهد که فاصله بین تک شمع‌ها در گروه کم بوده و گروه شمع در یک لایه خاک متراکم متکی بر یک لایه خاک سست و یا مجموعاً در یک لایه خاک سست یا متوسط واقع شده باشد. در این موارد گسیختگی ایجاد شده در گروه به صورت گسیختگی سوراخ کننده است، بطوریکه در ابتدا بلوک گروهی از جداره جدا و مجموعه به صورت یک پی یکپارچه و منفرد و همانند یک بلوک در زمین فرو می‌رود.

♦ راندمان گروه شمع‌ها در خاکهای دانه‌ای بسیار نزدیک به 1 و در برخی موارد حتی بزرگتر از یک است. زیرا کوبیدن شمع، با افزایش تنشهای وارده، باعث متراکم‌سازی و افزایش سختی خاک احاطه شده می‌گردد. اما توجه به این نکته ضروری است که در عمل راندمان گروه شمع حداکثر معادل 1 در نظر گرفته می‌شود. بر عکس در خاکهای چسبنده این مقدار اغلب از 1 کوچکتر است.

♦ برای تعیین ظرفیت باربری شمعها در خاکهای چسبنده باید مقادیر ظرفیت باربری گروهی و نیز ظرفیت تک تک شمعها را بررسی و مقدار کمتر را مبنای طراحی قرار داد.

♦ چنانچه فاصله مرکز تا مرکز شمعها بیش از 5 برابر متوسط قطر شمعها باشد، شمعها (به ویژه در خاکهای اصطکاکی) به صورت منفرد عمل می‌کنند.

♦ در یک گروه شمع، حداقل فاصله مرکز به مرکز شمعها باید 2 برابر و ترجیحاً 3 برابر قطر شمع باشد.

پیوست "ه"

روشهای آزمایش و تحلیل دینامیکی شمع (WEAP, PDA, CAPWAP, PIT)

ه-۱- مقدمه

هنگامی که ضربه چکش در حین عملیات شمع کوبی به سر شمع نواخته می‌شود، به ازای هر ضربه شمع قدری در زمین فرو می‌رود. از جمله عوامل موثر بر میزان فرو رفتن شمع به ازاء هر ضربه، سختی شمع و مقاومت و سختی خاک در اطراف جداره شمع در عمقهای مختلف و همچنین در کف و پائین تر از آن است. لذا میزان فرو رفتن شمع در خاک، به ازاء هر ضربه چکش با انرژی وارده مشخصی، می‌تواند شاخصی از مقاومت خاک باشد. به عبارت دیگر، به ازاء هر ضربه چکش یک آزمایش بارگذاری روی شمع انجام می‌پذیرد. اما تفاوت آن با آزمایش بارگذاری استاتیکی این است که به علت ماهیت دینامیکی ضربه وارده، اثر جرم و میرایی نیز در رفتار مجموعه شمع و خاک اطراف دخیل است. در نتیجه می‌توان با حل کلی معادله حرکت برای سیستم، بر حسب میزان فرو رفتن شمع در خاک، معادل ظرفیت باربری استاتیکی شمع را محاسبه نمود. توجه به این نکته منجر به توسعه روابط و فرمولهای دینامیکی، تحلیل عددی انتشار موج در شمع، تست دینامیک شمع، تحلیل انطباق سیگنال و روشهای دیگری شده است که در این پیوست به اختصار توضیح داده می‌شوند.

ه-۲- فرمولهای دینامیکی

از دهه‌های گذشته دست‌اندرکاران طراحی و اجرای عملیات شمع کوبی از قوانین ضربه نیوتن برای تخمین ظرفیت باربری شمع در حین عملیات استفاده کرده‌اند. از این رو روابط و فرمولهایی مبتنی بر قوانین پایه‌ای دینامیک توسط محققین مختلف ارائه شده که به فرمولهای دینامیکی (Dynamic Formula) موسوم هستند.

فرض مشترک در تمامی فرمولهای دینامیکی این است که در حین اعمال ضربه، انرژی وارده توسط چکش به شمع، بطور همزمان به نوک شمع نیز اثر می‌کند. اما تجربه سالهای متمادی استفاده از فرمولهای شمع کوبی نشان داد که نتایج حاصله دستخوش نوسانات زیادی بوده و به مفروضات در نظر گرفته شده وابسته هستند و لذا تلاشهای زیادی در جهت کامل نمودن و در نهایت پیچیده کردن فرمولها صورت پذیرفت. ولی به علت استفاده از فرض نادرست قوانین ضربه نیوتن در این مورد اغلب تلاشهای فوق بی‌نتیجه ماند.

ه-۳- روش تحلیل معادله موج (WEAP)

پس از اعمال ضربه، انتقال انرژی چکش از راس به نوک شمع به طور همزمان صورت نگرفته، بلکه پس از اعمال ضربه، موج طولی در شمع ایجاد می‌شود. بنابراین سیستم شمع- خاک- چکش در حین شمع‌کوبی باید توسط تئوری انتشار موج در یک محیط یک بعدی مدل شود.

Smith اولین راه حل عددی معادله مربوط به انتشار موج در شمع را با استفاده از یک مدل ساده برای سیستم شمع- خاک- چکش از روش تفاضلهای محدود برای تحلیل تغییر مکانهای شمع تحت ضربه چکش پیشنهاد نمود. وی در سال 1960 کاربرد روش معادله موج یا WEAP (Wave Equation Analysis of Pile) را برای تحلیل شمع و شمع‌کوب به طور مبسوط‌تری شرح داده و همچنین حدود پارامترهای ورودی را که بر اساس تجربیات خود بدست آورده بود ارائه داد. از آن زمان به بعد تحقیقات وسیعی بر روی کاربرد روش معادله موج انجام شد. این تحقیقات عمدتاً بر روی تعیین پارامترهای مورد نیاز برای مدل‌سازی اجزاء سیستم شامل شمع، خاک و دستگاه کوبش متمرکز بود. تحلیل WEAP گرافی به نام گراف باربری (Bearing Graph) رسم می‌نماید. با کمک رسم گراف حاصله نتایج زیر قابل استخراج است:

- ♦ انتخاب چکش مناسب برای شمع‌کوبی
 - ♦ محاسبه تنشهای ماکزیمم فشاری و کششی و کنترل اینکه شمع در حین عملیات شمع‌کوبی دچار شکستگی یا لهیدگی نشود
 - ♦ انتخاب معیار توقف عملیات شمع‌کوبی (Termination Criteria) برحسب رسیدن به تعداد ضرباتی که مؤید ظرفیت باربری مورد انتظار است
اما روش WEAP دارای نقاط ضعفی نیز هست که عبارتند از:
 - ♦ دشواری در برآورد صحیح میزان انرژی وارده از طرف چکش به شمع یا به عبارت دیگر برآورد صحیحی از راندمان چکش
 - ♦ تخمین پارامترهای مناسب برای خاک در اعماق مختلف مانند ضریب میرایی جدار و نوک شمع
- به منظور رفع نقیصه‌های فوق تلاشهایی صورت پذیرفت که منجر به توسعه و کاربرد آزمایشهای دینامیکی گردید.

ه-۴- آزمایش دینامیکی شمع (PDA)

یکی از متداولترین این آزمایشها آزمایش دینامیکی شمع یا PDA (Pile Driving Analyser) است که با استفاده از نصب سنسورهای در نزدیکی سر شمع، مقادیر نیرو و سرعت وارده ناشی از ضربه چکش مستقیماً اندازه‌گیری می‌شوند. در نتیجه می‌توان برآورد بسیار دقیق‌تری از انرژی وارده به سر شمع به ازاء هر ضربه داشت.

با استفاده از نتایج آزمایش PDA می‌توان ظرفیت باربری استاتیکی کل شمع (بدون تفکیک مقاومتهای اصطکاکی و نوک) را در حین شمع‌کوبی بدست آورد.

در این روش از سیگنالهای مربوط به کرنش‌سنجها و شتاب‌سنجهایی که در نزدیکی سر شمع‌های بتنی، فولادی یا چوبی نصب می‌شوند استفاده می‌گردد. تصویری از یک مجموعه PDA در شکل (ه-1) نشان داده شده است. در روش PDA انتشار موج در شمع به روشهای جبری محاسبه شده و برای کنترل موارد زیر استفاده می‌شود:

- ◆ عملکرد چکش به منظور کنترل ابزار کوبش
- ◆ تخمین ظرفیت باربری فعال شده (روش Case) حین کوبش یا مدتی پس از کوبش به منظور تعیین تغییرات مقاومت خاک با زمان
- ◆ تنشهای ایجاد شده در شمع حین کوبش برای مشخص نمودن نقاط آسیب‌دیده شمع
- ◆ کنترل یکپارچگی سازه شمع
- ◆ مقادیر فوق بلافاصله پس از هر ضربه چکش مشخص می‌شوند.
- تخمین‌های روش Case که برای سیستم شمع - خاک مناسب باشند در سایت به راحتی در دسترس قرار می‌گیرند. به منظور تعیین بهترین تخمین ظرفیت باربری فعال شده از روش Case برای شمع‌های مورد آزمایش لازم است مدل‌سازی توسط نرم‌افزاری مانند CAPWAP بر روی رکوردهای انتخاب شده انجام گیرد.

ه-۵- روش انطباق سیگنال (CAPWAP)

مکمل آزمایش PDA انجام تحلیل انطباق سیگنال (Signal Matching) بوده که در واقع تحلیلی شبیه به WEAP است، با این تفاوت که ورودی‌های اولیه برنامه، نتایج آزمایش PDA می‌باشد. با استفاده از نتایج این تحلیل می‌توان اطلاعات مبسوط‌تری از توزیع تنش و نیرو در امتداد طولی شمع بدست آورده و در نتیجه مقاومتهای اصطکاکی و نوک را به تفکیک محاسبه نمود. یکی از برنامه‌های کامپیوتری موجود برای این منظور برنامه CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program) است.

در این روش برای محاسبه نیروهای مقاومت خاک موثر بر شمع، اطلاعات مربوط به مقادیر نیرو و سرعت اندازه‌گیری شده از روش PDA با روش تحلیل معادله موج ترکیب می‌شود. در روش CAPWAP شمع توسط المانهای یکسان و پیوسته مدل می‌شود. هر المان دارای سطح مقطع یکسانی است، اما برای مدل‌سازی شمع‌های غیر یکنواخت، سطح مقطع المانها می‌توانند متفاوت باشند. مدل خاک شبیه مدل Smith است و شامل مقاومت کل و توزیع آن، ثابتهای میرایی و "تغییر مکانهای گسیختگی" (Quake) می‌باشد.

بطور خلاصه نتایج روش CAPWAP بر اساس بهترین انطباق ممکن بین متغیر محاسبه شده در سر شمع (نیرو) و مقدار متناظر اندازه‌گیری شده آن بنا شده است. در صورتیکه انطباق خوبی برقرار نباشد، با تغییر پارامترهای مقاومت خاک نیروی سر شمع دوباره محاسبه می‌شود. به همین دلیل این روش را روش انطباق سیگنال (Signal Matching) می‌نامند.

نمودارهای سرعت و نیروی اندازه‌گیری شده در محل با مقادیر سرعت و نیروی محاسباتی از روش CAPWAP منطبق شده تا بدین ترتیب اطلاعات کاملتری از شمع بدست آید (شکل ه-2). این اطلاعات عبارتند از:

- ◆ تفکیک مقامتهای نوک و اصطکاکی
- ◆ اندازه و توزیع مقاومت اصطکاکی روی جدار
- ◆ توزیع نیروی محوری در شمع
- ◆ میراثی جدار و نوک شمع
- ◆ تغییرمکان گسیختگی جدار و نوک شمع
- ◆ شبیه‌سازی رفتار خاک تحت آنالیز استاتیکی

ه-۶- آزمایش کنترل یکپارچگی (PIT)

در صنعت پی‌های عمیق امروزی آزمایش PIT یک آزمایش مطمئن، غیر تخریبی و کم هزینه است و یک راه حل عملی و اقتصادی محسوب می‌شود.

در زمان نصب، شمع‌ها ممکن است به واسطه تنشهای زیاد آسیب ببینند. در شمع‌های بتنی ریختنی ممکن است مشکل جدائی بتن، باریک‌شدگی، وجود ناخالصی، تخلخل و... بوجود آید. همچنین ممکن است شمع به دلایل ریزش دیواره آسیب ببیند.

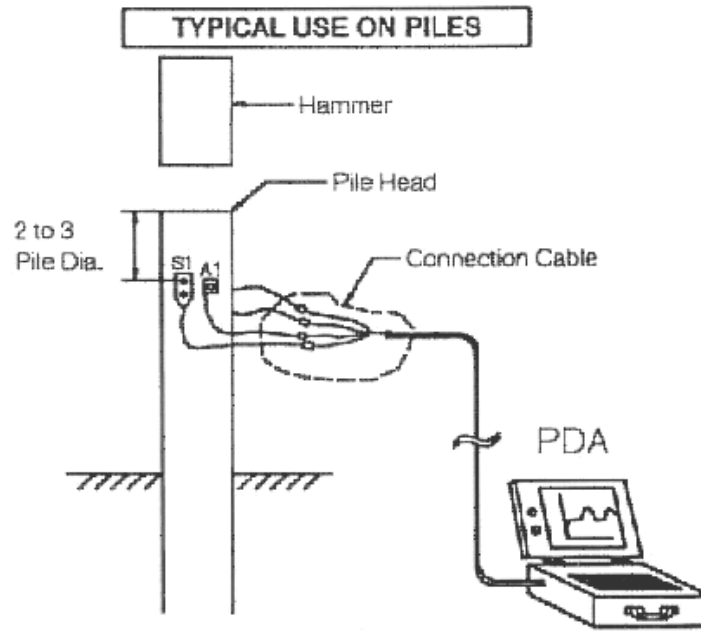
آزمایش با کرنش کم (Low Strain Testing) می‌تواند بر روی تعداد قابل ملاحظه‌ای از شمع‌های بتنی در هر روز انجام شود. ابزار مورد نیاز برای انجام آزمایش با کرنش کم عبارتند از یک وسیله ضربه کوچک دستی، یک شتاب‌سنج حساس و دستگاه PIT. شتاب‌سنج به راحتی توسط یک ماده لزج به سر شمع متصل می‌شود. شکل (ه-3) یک نمونه دستگاه آزمایش PIT را نشان می‌دهد.

موجهای فشاری با کرنش کم توسط ضربه اعمال شده به سر شمع تولید می‌شوند. زمانی که موج فشاری پائین‌رونده تحت تاثیر تغییر سطح مقطع یا تغییر جنس بتن قرار گیرد، یک موج بالارونده کششی ایجاد می‌شود که در سر شمع احساس می‌شود.

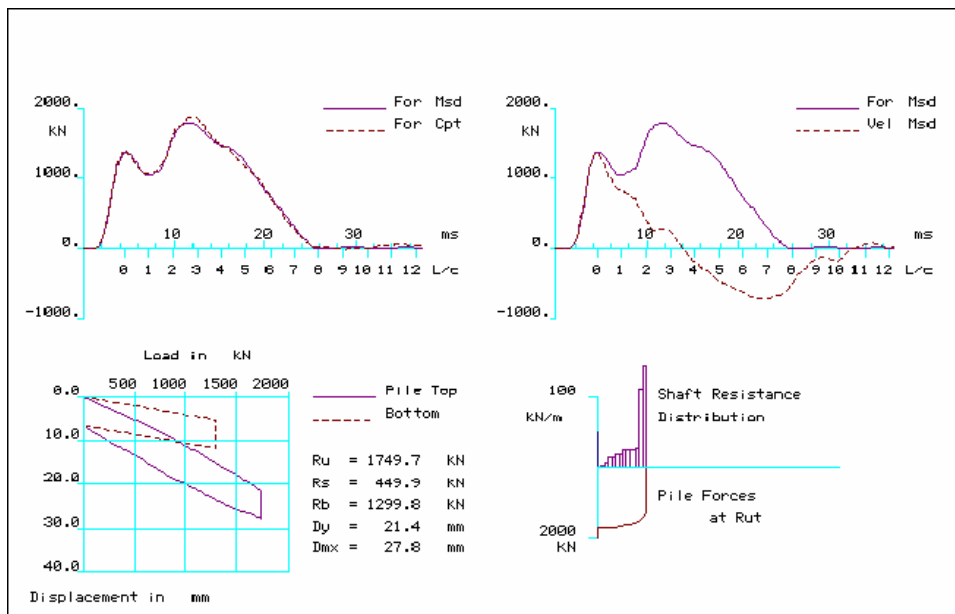
رکوردهای سرعت و موجهای بازگشت از نوک شمع یا ناپیوستگی‌های موجود در طول شمع بطور گرافیکی نمایش داده می‌شوند و برای تحقیقات و تحلیلهای بیشتر ذخیره می‌گردند.

محل مسئله‌دار در طول شمع توسط سرعت موج در مصالح شمع تخمین زده می‌شود. اندازه محل مسئله‌دار توسط بزرگی انعکاس اولیه مشخص می‌گردد. این آزمایشها سریع و کم هزینه بوده و توسط اپراتور قابل انجام می‌باشند.

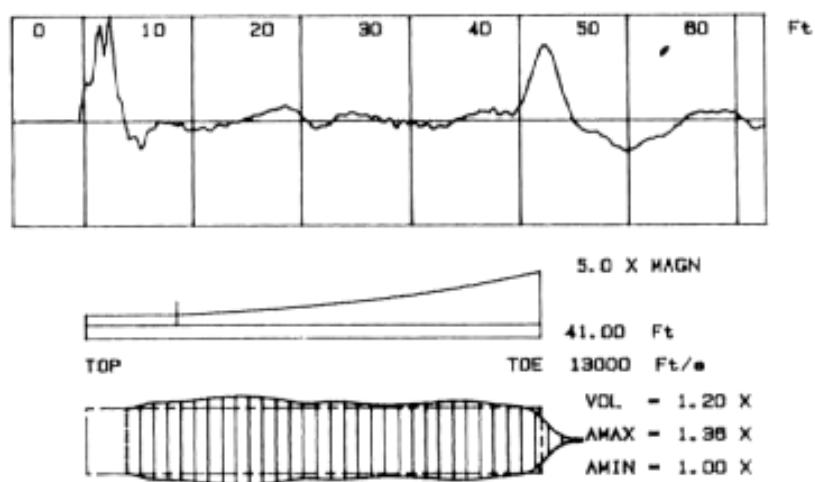
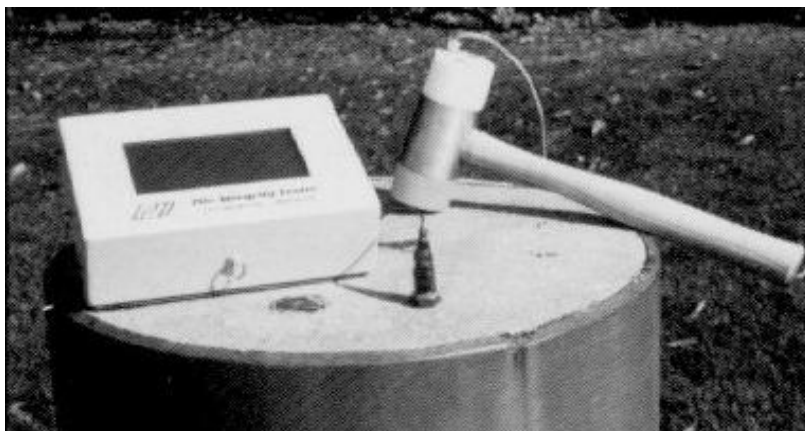
تکنولوژی PIT کاربردهای دیگری نیز دارد. یکی از آنها تعیین طول شمع‌های موجود یا سپرها توسط انعکاس حاصله از کف آنهاست. کاربرد دیگر آن تعیین سرعت موج در مصالح است.



شکل (ه-1): تصویری شماتیک از انجام آزمایش دینامیکی شمع (PDA)



شکل (ه-2): نمونه‌ای از نتایج تحلیل انطباق سیگنال (CAPWAP)



شکل (ه-3): نمونه‌ای از سیستم PIT در حال آزمایش و خروجی نتایج آن
 به منظور کنترل یکپارچگی شمع اجرا شده

پیوست "و" نقشه کاربری اراضی در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس

و-۱- مقدمه

در این پیوست نقشه کاربری اراضی در سایت شماره 1 منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس ارائه شده است. ذکر این نکته ضروری است که نقشه ارائه شده وضعیت موجود منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس را نشان می‌دهد و فاقد طرحهای در دست مطالعه و مناطق محتمل برای توسعه منطقه ویژه (نظیر سایت شماره 2 یا تمبک) است.



منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس

- سایت انبارها WAREHOUSES SITE
- فرودگاه AIRPORT
- سایت صنایع پایین دست پتروشیمی PETROCHEMICALS DOWNTHEAM INDUSTRIES SITE
- سایت تجهیز کارگاه MOBILIZATION SITE
- سایت خدمات و اداری SERVICES AND ADMINISTRATIVE SITE
- سایت اسکان موقت TEMPORARY HOUSING SITE
- سایت نیروگاه و آب شیرین کن POWER PLANT AND DESALINATION PLANT SITE
- سایت صنایع دریایی MARINE INDUSTRIES SITE
- سایت پتروشیمی PETROCHEMICAL SITE
- سایت پشتیبانی بندر FORT SUPPORT'S SITE
- کریدور تأسیساتی UTILITY CORRIDOR
- ذخیره کریدور تأسیساتی RESERVED FOR THE UTILITY CORRIDOR
- هتل و هتل آپارتمان HOTEL & HOTEL APARTMENTS
- سد تأخیری DETENTION DAM
- سد رسوب گیر DESILTING DAM
- تاریکانه TERMINAL
- سایت صنایع نفت و گاز پارس PARS OIL AND GAS INDUSTRIES SITE
- فاز ۳ و ۵ PHASES 4 & 5
- فاز ۳ و ۴ PHASES 4 & 3
- فاز ۱ PHASE 1
- فاز ۲ و ۳ PHASES 2 & 3
- واحد GTU PHOC PHASE 1
- فاز ۱۷ و ۱۸ PHASES 17 & 18
- فاز ۹ و ۱۰ PHASES 9 & 10
- فاز ۱۴ و ۱۵ PHASES 14 & 15
- واحد GTU PHOC PHASE 1
- سایت توسعه صنایع بالادست EXPANSION OF UPSTREAM INDUSTRIES
- سایت صنایع مشتقات PETRO INDUSTRIAL SITE
- سایت صنایع نیمه سنگین SEMI-HEAVY INDUSTRIES SITE
- سایت شهرک فرودگاهی AIRPORT CITY
- تأسیسات زیر بنایی INFRA - STRUCTURAL FACILITIES
- برگشتی BRIDGE
- راه آهن RAIL ROAD



طرح کاربری اراضی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس

PSEEZ LAND USE PLAN

کارفرما : شرکت منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس



مشاور : مهندسین مشاور معمار و شهرساز عمران آب و انرژی ره شهر

RAH SHAHR ARCHITECTS, URBAN DESIGN, HYDRAULICS & ENERGY CONSULTANTS

SCALE: 0 100 250 500M

